

# Trabajo Fin de Grado

Aplicación de los vehículos híbridos al batallón de  
infantería ligera.

Autor

Óscar Damian Castillo Cantos.

Directores

Profesor D. Joaquín Mur Amada.  
Capitán D. Pablo Molina Serrano.

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar  
Año 2019



# Resumen

El presente trabajo se enmarca en la tendencia de modernización del Ejército de Tierra, las actividades que impulsan dicha evolución se reflejan en la creación de proyecto Brigada Experimental 2035. Su objetivo es la adaptación y modernización del Ejército de Tierra mediante la modernización del material y actualizando la formación del personal para hacer frente a las posibles amenazas del futuro. La tecnología híbrida ha irrumpido con fuerza en el mercado civil y poco a poco se hará hueco en la industria militar. En la memoria del trabajo se recogen una serie de prototipos de vehículos híbridos tácticos y de transporte, dando a conocer a las mentes más escépticas de su irrupción en los ejércitos más modernos como el de EE. UU, Francia y el prototipo nacional.

Los objetivos del trabajo son estudiar la viabilidad de incorporar a los batallones de infantería ligera vehículos blindados, camiones y/o ligeros propulsados mediante la tecnología híbrida (combinación de un motor de combustión interna con uno o varios eléctricos) y la búsqueda de posibles aplicaciones tácticas y logísticas de estos medios. Tras analizar las características técnicas que tiene esta clase de tecnología aplicada a los vehículos, se recogen una serie de requisitos tácticos que se les supone a todos los vehículos que van a operar en el campo de batalla. Entre estas características destacan la protección activa y pasiva del vehículo y la movilidad. El principal problema abordado será la valoración de funcionalidad, además es necesario estudiar el impacto en las necesidades logísticas y de mantenimiento que puedan requerir los nuevos vehículos.

Tras enfrentar las capacidades técnicas que aportan los vehículos híbridos, los requisitos de los vehículos tácticos y las misiones que llevan a cabo las unidades que forman un batallón de infantería (tanto combate como apoyo logístico) se han propuesto una serie de aplicaciones y beneficios de la implementación de los medios. Destacan entre ellas la capacidad de conducción eléctrica pura, el ahorro de combustible y la gran capacidad energética que aporta el vehículo en el campo de batalla. Dichas características aportan seguridad y capacidad de mantener la sorpresa, a la vez que podemos contactar con el enemigo evitando ser descubiertos.

Es conocido que la tecnología híbrida tiene años de investigación por delante para obtener una tecnología suficientemente madura y segura en el rendimiento militar. Aun así, se está consolidando sólidos pilares en el ámbito civil y ha llegado a la implantación de prototipos en materia de defensa con grandes perspectivas de futuro. En un futuro no muy lejano se verán prototipos funcionales en ejércitos de nuestro entorno operativo.



# Abstract

This work is part of the trend of modernization of the Spanish Army, the activities that drive this evolution are reflected in the creation of the Experimental Brigade 2035 project. Its objective is the adaptation and modernization of the Spanish Army by modernizing the material and updating the training of personnel to deal with the possible threats of the future. Hybrid technology has burst into the civilian market and will gradually gain a dent in the military industry. In memory of the work are collected a series of prototypes of tactical and transport hybrid vehicles, making known the most skeptical minds of their breakthrough in more modern armies such as the United States, France and the national prototype.

The objectives of the work are to study the feasibility of incorporating armored vehicles, trucks and/or light aircraft powered by hybrid technology (combination of an internal combustion engine with one or more electric ones) and the search for possible tactical and logistical applications of these means. After analyzing the technical characteristics of this kind of technology applied to vehicles, a few tactical requirements are collected that are assumed to all vehicles that will operate on the battlefield. These features include active and passive vehicle protection and mobility. The main problem addressed will be the evaluation of functionality, in addition it is necessary to study the impact on the logistical and maintenance needs that new vehicles may require.

After addressing the technical capabilities provided by hybrid vehicles, tactical vehicle requirements and the missions carried out by units that form an infantry battalion (both combat and logistical support) have been proposed, several applications and benefits of media implementation. They include the pure electric driving capacity, fuel economy and great energy capacity provided by the vehicle on the battlefield. These features provide security and the ability to maintain surprise, while being able to contact the enemy avoiding being discovered.

It is known that hybrid technology has years of research ahead of it for a sufficiently mature and safe technology in military performance. Even so, it is consolidating solid pillars in the civil field and has reached the implementation of defense prototypes with great prospects. In the not-too-distant future, functional prototypes will be seen in armies of our operating environment.



# Agradecimientos.

Inicialmente, me gustaría agradecer al Instituto de Enseñanza Secundaria Zaidín Vergeles, después de seis años de paso por sus aulas me ayudó a conseguir los conocimientos básicos para progresar en mi formación, al Centro Universitario de la Defensa, acrecentando mi formación académica y a todos los profesores tanto civiles como militares. Han trabajado en transmitir sus conocimientos, valores y manera de proceder, para enseñarme a alcanzar cualquier reto que me proponga.

Agradecer al Profesor D. Joaquín Mur Amada por su constante trabajo orientándome en la elaboración del Trabajo de Fin de Grado. Igualmente, agradecer al Capitán D. Pablo Molina Serrano, al Escalón de Mantenimiento y al resto de personal del Grupo de Regulares de Ceuta N° 54 por su disponibilidad a la hora de consultar información y oportunidad para desarrollar las practicas de mando en la unidad.

Finalmente, agradecer a todas aquellas personas que me han apoyado a lo largo de toda mi etapa formativa. A mi familia, muchas gracias por apoyarme, soportarme e impulsarme a conseguir cualquier objetivo que me proponga. A mi madre Ana, por su incansable trabajo educándome y aconsejándome; a mi padre Óscar, por su incansable trabajo para poder ofrecer lo necesario a sus hijos y a mis dos hermanos Ángel y Darío, pilares fundamentales en mi vida. A su vez, agradecer a todos mis amigos y compañeros de promoción, sin ellos este arduo camino no hubiera sido posible.





# Índice

<b>Resumen .....</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>v</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>xii</b>
<b>Lista de Acrónimos.....</b>	<b>xiv</b>
<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos y alcance del trabajo.....	1
1.2. BRIEX 2035. ....	1
<b>Capítulo 2. Estado del arte.....</b>	<b>3</b>
2.1. Tecnología híbrida.....	3
2.2. Vehículos híbridos civiles. ....	4
2.3. Prototipos de vehículos híbridos militares. ....	6
2.3.1. Vehículo táctico Humvee FED Bravo.....	6
2.3.2. Camión híbrido Oshkosh HEMTT A3. ....	7
2.3.3. Vehículo táctico Shadow RST-V. ....	7
2.3.4. Vehículo táctico Arquus Scarabee.....	8
2.3.5. VAMTAC ST5 híbrido. ....	9
<b>Capítulo 3. Análisis técnico.....</b>	<b>10</b>
3.1. Tipos de vehículos híbridos/eléctricos. ....	10
3.1.1. Configuraciones de los vehículos híbridos.....	11
3.2. Start-Stop Engine.....	14
3.3. Diferencial electrónico. ....	14
3.4. Baterías. ....	15
3.4.1. Frenada regenerativa. ....	16
<b>Capítulo 4. Estudio requerimientos tácticos y logísticos.....</b>	<b>17</b>
4.1. Requerimientos tácticos.....	17
4.1.1. Movilidad de los vehículos.....	17
4.1.2. Protección pasiva y activa de los vehículos. ....	20
4.1.3. Medios CIS.....	21
4.2. Logística. ....	22

4.2.1. Mantenimiento.....	22
<b>Capítulo 5. Aplicaciones al batallón de infantería ligera. ....</b>	<b>24</b>
5.1. Aplicaciones tácticas de la hibridación de vehículos. ....	24
5.1.1. Reconocimientos. ....	25
5.1.2. Ofensiva .....	25
5.1.3. Ocupación del terreno. ....	26
5.2. Beneficios logísticos de la hibridación de vehículos.....	26
5.3. Camión híbrido de transporte. ....	27
<b>Capítulo 6. Conclusiones y trabajo futuro.....</b>	<b>29</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>31</b>



# Índice de figuras

Figura 1. Logo BRIEX 2035. Fuente: ejercito.mde.es [1] .	2
Figura 2. Vehículo eléctrico de mediados del siglo XIX. Fuente: thoughtco.com [4] ....	3
Figura 3. Harley Davidson eléctrica. Fuente: harley-davidson.com [5] .....	4
Figura 4. Bicicleta eléctrica Trimove EBike. Fuente: todo-ev.mercadoshops.com.ar [6] .	4
Figura 5. Flota de autobuses eléctricos de Zaragoza. Fuente: diarioaragones.com [8] ...	4
Figura 6. Evolución ventas EV. Fuente: Informe Bloomberg [9] .	5
Figura 7. Tesla Roaster. Fuente: tesla.com [11] .	6
Figura 8. Humvee FED Bravo. Fuente: Teniente Pablo Vicario [12] .	7
Figura 9. Vista lateral de HEMTT A3. Fuente: hybrid-vehicle.org [13] .....	7
Figura 10. Prueba HEMTT A3 en camino accidentado. Fuente: nbcnews.com [14] .....	7
Figura 11. Prototipo del Shadow RST-V. Fuente [15] .....	8
Figura 12. Prueba de conducción en Yuma, EE. UU. Fuente [15] .....	8
Figura 13. Vehículo híbrido Arquus Scarabee. Fuente: arquus-defense.com [16] .....	9
Figura 14. Vehículo híbrido Arquus Scarabee en desplazamiento diagonal. Fuente: arquus- defense.com [16] .	9
Figura 15. Prototipo VAMTAC ST5 híbrido. Fuente: defensa.com [17] .	9
Figura 16. Sistema Start-Stop. Fuente: greencarreports.com [20] .	14
Figura 17. Diagrama del sistema de propulsión y control del diferencial electrónico. Fuente: Institute of Electrical and Electronics Engineers [21] .....	15
Figura 18. Gráfica comparativa de frenos. Fuente: aficionadosalamecanica.net [23] .	17
Figura 19. Esquema Sistema frenado regenerativo. Fuente: aficionadosalamecanica.net [23] .	17
Figura 20. Carretera en Afganistán. Fuente: freepik.es [27] .	19
Figura 21. Configuraciones vehículos tácticos. Fuente: IVECO [25] .....	20
Figura 22. Blindaje del VTLM. Fuente: IVECO [25] .....	21
Figura 23. Principales componentes de un vehículo híbrido. Fuente: talleractual.com [28] .....	23
Figura 24. Esquema de posible valla eléctrica portátil. Fuente: elaboración propia. ....	26
Figura 25. Elementos híbridos requeridos para prototipo. 1, MCI; 2, ME; 3, Caja de cambios; 4, Sistema de almacenamiento eléctrico; 5 Componentes electrónicos; 6, interfaz de carga a bordo; 7, Interfaz de carga fuera del vehículo; 8, Cargador eléctrico; 9, Red; 10, Elementos auxiliares eléctricos. Fuente: VOLVO Bus [31] .....	28

## Lista de tablas

Tabla 1. Top ventas híbridos en España en junio de 2019. Fuente: motor.es [10] .....	5
Tabla 2. Parámetros de las BEV's. Fuente: elaboración propia, basada en [22] y [18] .	16
Tabla 3. Comparativa vehículos tácticos. Fuente: elaboración propia, basada en [24] , [26] y [25] .	18
Tabla 4. Requisitos técnicos para los proveedores. Fuente: elaboración propia. ....	28
Tabla 5. Matriz de decisión empresa automoción híbrida. Fuente: elaboración propia.	28



# Lista de Acrónimos

TFG	Trabajo Fin de Grado
CUD	Centro Universitario de la Defensa
BRIEX	Brigada experimental
HEV	Hybrid electric vehicle (Vehículo eléctrico híbrido)
PHEV	Plug-In Hybrid electric vehicle (Vehículo eléctrico híbrido enchufable)
BEV	Batería de vehículos eléctricos
MCI	Motor de combustión interna
VAMTAC	Vehículo de alta movilidad táctica
TO	Teatro de operaciones
ET	Ejército de Tierra
CIS	Communication and Information Systems
RPAS	Remotely Piloted Aircraft Systems
IED	Improvised Explosive Device
C-IED	Counter-Improvised Explosive Device
NBQ-R	Nuclear Biológica Química y Radiológica
E-REV	Extended-Range Electric Vehicle (Vehículo eléctrico de autonomía prolongada)
ME	Máquina eléctrica.
DARPA	Defense Advanced Research Agency
ONR	Office of Naval Research
HEMTT	Heavy Expanded Mobility Tactical Truck
VHT	Vehículo híbrido táctico
FED	Fuel Efficient Demonstrator
TARDEC	Theo Tank Automobile Research, Development and Engineering Center
EBS	Sensor electrónico de batería
PU	Pequeña unidad.
SERECO	Sección de Reconocimiento
POSDEF	Posición defensiva



# Capítulo 1. Introducción

La presente memoria recoge los resultados obtenidos en el Trabajo de Fin de Grado (TFG) enmarcado en el Grado de Organización Industrial, impartido en el Centro Universitario de la Defensa (CUD) dentro del plan de formación de futuros oficiales del Ejército de Tierra (ET). En particular el título inicial del trabajo fue, “Los vehículos híbridos/eléctricos y aplicación al batallón de infantería ligera”, viéndose modificado al actual tras asesorarse con el tutor académico y el tutor militar, la autoría del trabajo le pertenece al Caballero Alférez Cadete de Infantería Óscar Damian Castillo Cantos.

## 1.1. Objetivos y alcance del trabajo.

El objetivo del trabajo es el estudio de la viabilidad de incorporar a los batallones de infantería ligera vehículos blindados, camiones y/o ligeros propulsados mediante tecnología híbrida y buscar las posibles aplicaciones en ambiente táctico, así como en el apoyo logístico que pueden proporcionar estos medios. Para ello se analizarán las características que ofrecen estos vehículos y se enfrentaran a los requisitos que se exigen a los vehículos militares contemporáneos. Para llevarlo a cabo hay que realizar los siguientes pasos:

- Exposición de la tecnología híbrida. Estado del arte.
- Configuraciones de la tecnología híbrida.
- Análisis sistema Start-Stop y diferencial electrónico
- Análisis de las baterías.
- Requisitos para la viabilidad táctica de la implementación de los medios.
- Influencia de la tecnología híbrida en el ámbito militar.
- Análisis de la incorporación de los medios al transporte logístico.

## 1.2. BRIEX 2035.

La Brigada experimental 2035, también conocida como “la Fuerza del Futuro” nace en el año 2018 a raíz de las previsiones en las que el Ejército de Tierra deberá actuar en entornos impredecibles, dinámicos, inestables y de creciente complejidad. Hay que tener en cuenta para esta visión de futuro el rápido avance tecnológico, su aplicación civil y evolución al ámbito militar, la gran capacidad de conexión en el mundo globalizado y capacidad de influencia de las redes sociales y medios de comunicación, ya que posibles amenazas o adversarios también están evolucionando sus fuerzas y dotándolas de un mayor nivel tecnológico.





Figura 1. Logo BRIEX 2035. Fuente: [ejercito.mde.es](http://ejercito.mde.es) [1] .

Por tanto, el ET en base a sus unidades de combate referente, las brigadas, pretende plasmar hoy en día experimentalmente lo que puede llegar a ser la fuerza terrestre. Para ello ha puesto en manos de la Brigada “Rey Alfonso XIII” II de la Legión, la realización de actividades experimentales para recoger información para el diseño de la brigada del futuro. Dicho conjunto de actividades se encuentra dividido en las funciones de combate:

- a) Mando y control: sistema integrado de visualización de información operacional relevante (*Comun Operational Picture*) y desarrollo de medios *Communication and Information Systems* (CIS).
- b) Inteligencia: aumento de sensores en el campo de batalla, inteligencia artificial y control de ciberespacio (incluyendo redes sociales).
- c) Fuegos: mayor incidencia en la integración de fuegos conjuntos.
- d) Protección: la defensa antiaérea con nuevos enemigos como los *Remotely Piloted Aircraft Systems* (RPAS) y los *slow movers* (avionetas, ultraligeros), evolución en materia de *Counter-Improvised Explosive Device* (C-IED) y mejores sistemas de detección frente la amenaza Nuclear Biológica Química y Radiológica (NBQ-R).
- e) Apoyo logístico: automatización y robotización de labores de mantenimiento, conducción y gestión de cargas, impresión 3D de repuestos y la consiguiente formación actualizada de los especialistas. Aparición de nuevos escenarios obligan a proporcionar apoyo a unidades más disgregadas y con una amenaza constante. Por lo tanto, se requiere disminuir la huella logística y poder proporcionarse autoprotección.
- f) Maniobra: la movilidad, autonomía y medios de protección activa y pasiva les permitirán actuar en los diferentes escenarios, actuar más dispersas y concentrarse rápidamente cuando sea necesario. Así mismo ha de integrarse la influencia del entorno, la acción en el ciberespacio y la movilidad y contramovilidad.

## Capítulo 2. Estado del arte.

En este capítulo se pretende dar a conocer el pasado de los vehículos híbridos, un estudio de los vehículos híbridos comerciales más relevantes y finalmente una mención a los desarrollos de esta tecnología en materia de defensa en países de nuestro entorno operativo.

### 2.1. Tecnología híbrida.

La historia que une la electricidad con la automoción no es de las últimas décadas, según el trabajo [2] el primer vehículo eléctrico (un simple carro eléctrico) se creó entre 1832 y 1839 a manos de Robert Anderson, aun así, hubo anteriormente invenciones similares a pequeña escala. Debido al desarrollo industrial, el motor eléctrico se vio eclipsado debido al auge de los combustibles fósiles, evolucionando la industria de la automoción como la conocemos hoy en día. Sin embargo, los expertos parecen señalar [3] que en un futuro no muy lejano la mayoría de los vehículos tendrán un motor eléctrico, pero hasta entonces los protagonistas serán los motores híbridos.



**Figura 2. Vehículo eléctrico de mediados del siglo XIX. Fuente: [thoughtco.com](http://thoughtco.com) [4] .**

Los vehículos híbridos de cualquier tipo (bicicletas, motocicletas, automóviles, camiones, trenes, barcos y aviones) son aquellos que utilizan como elementos de propulsión la combinación de un motor de combustión interna (MCI) y uno o varios motores eléctricos. También existen modelos híbridos que incorporan celdas de combustible, supercondensadores, motor de aire comprimido o volante de inercia, en combinación con un MCI o una maquina eléctrica (ME), dejando así un amplio abanico de posibilidades para la investigación y desarrollo en el futuro (ver Apéndice A).



**Figura 3. Harley Davidson eléctrica.**  
Fuente: harley-davidson.com [5] .



**Figura 4. Bicicleta eléctrica Trimove E Bike.** Fuente: todo-ev.mercadoshops.com.ar [6] .

Actualmente no solo se han comercializado automóviles híbridos o eléctricos, también se han empezado a desarrollar autobuses urbanos híbridos en ciudades dentro de España tales como Zaragoza [7] o Madrid. Simultáneamente, el mundo de los camiones ha hecho lo propio y se empieza a barajar la posibilidad de adquirir en ciudades con gran movimiento de vehículos urbanos modelos de camiones de basura, transporte y reparto que trabajen con motores híbridos. Las razones por las que llevar a cabo estas medidas han sido, un menor consumo de gasoil (lo que supone un ahorro a la administración y a las empresas), una menor emisión de gases contaminantes y menor contaminación acústica. Debido a la actual normativa del Ayuntamiento de Madrid o ciudades como Paris, en las que se restringe la circulación de vehículos por áreas de la ciudad con un índice de contaminación elevado, los alcaldes de este tipo de ciudades han optado por emplear en el centro del casco urbano transporte público híbrido acorde con la nueva normativa y favorecer al bienestar social.



**Figura 5. Flota de autobuses eléctricos de Zaragoza.** Fuente: diarioaragones.com [8] .

## 2.2. Vehículos híbridos civiles.

En la última década se ha desarrollado el auge de la venta de vehículos eléctricos de toda clase, pero cabe destacar el consumo por parte de la población de turismos híbridos, además el crecimiento en las ventas seguirá aumentado según lo dice en informe Bloomberg [9] , para el año 2040 la venta de turismo híbridos tendrá un 35% de crecimiento en comparación con las vetas de 2015 lo que supone 90 veces más que dicho

año. Como no podía ser de otra manera los líderes en desarrollo y venta de estos vehículos son Estados Unidos y Japón seguidos por Europa.

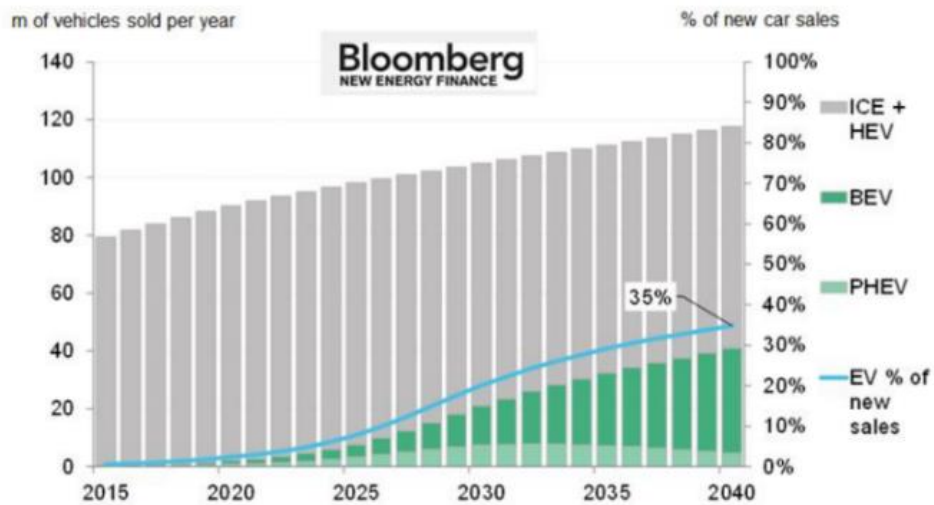


Figura 6. Evolución ventas EV. Fuente: Informe Bloomberg [9] .

En el caso nacional las ventas de coches híbridos han crecido por encima de la media europea durante los últimos años. En nuestro país y con los datos definitivos de ventas de coches nuevos en 2018, el crecimiento de los vehículos híbridos fue de un 5,7 %. Actualmente las marcas más destacadas en la venta de esta clase de vehículos en nuestro país son Toyota y Lexus. A continuación, se muestra el top 10 en ventas de junio de 2019 en España:

RANQUING	MODELO	PRECIO € (DESDE)	VENTAS
1º	Toyota Corolla	20.850	1.801 uds
2º	Toyota C-HR	25.050	1.280 uds
3º	Toyota RAV4	33.000	983 uds
4º	Kia Niro Híbrido	19.900	551 uds
5º	Toyota Yaris Hib.	16.600	533 uds
6º	Hyundai IONIQ	22.845	381 uds
7º	Toyota Prius +	25.450	305 uds
8º	Lexus UX	33.900	292 uds
9º	Ford Mondeo Hib.	29.925	285 uds
10º	Lexus NX	41.400	177 uds

Tabla 1. Top ventas híbridos en España en junio de 2019. Fuente: motor.es [10] .

La hibridación ha llamado la atención a grandes marcas, desarrollando sus propios modelos, entre las que destacan BMW con su fascinante modelo BMW i8, Audi con el novedoso E-Tron, Porsche con el 911 híbrido o el famoso Tesla Roster [11] (siendo el coche eléctrico con mayor capacidad de aceleración pasando de 0 a 100 km/h en 2,1 segundos, aportando hasta 1000 km de autonomía y con capacidad de alcanzar los 400 km/h).



Figura 7. Tesla Roadster. Fuente: tesla.com [11].

## 2.3. Prototipos de vehículos híbridos militares.

En el ámbito de la defensa la innovación tecnológica es un factor importante y los medios híbridos no han pasado desapercibidos, aun así, los países con más recursos y experiencia en combate no han creado un vehículo táctico híbrido totalmente operativo, por lo que es de esperar que aún faltan bastantes años para verlos en el campo de batalla. Seguidamente se recogen algunos diseños.

### 2.3.1. Vehículo táctico Humvee FED Bravo.

El primer prototipo de interés es el *Humvee Fuel Efficient Demonstrator (FED) Bravo*, desarrollado por el *College for Creative Studies* (Detroit, EE. UU) y el *The Tank Automobile Research, Development and Engineering Center (TARDEC)*. Se propulsa por un motor V8 turbo diésel de 4.4 litros de cilindrada llegando a producir una potencia de 198 kW, el vehículo emplea una batería de Ion-Litio junto a dos motores eléctricos que impulsan cada uno un eje motriz (delantero y trasero) mediante un sistema híbrido en paralelo (véase apartado 3.1.1.). Según pruebas realizadas por los desarrolladores la movilidad táctica es la misma que la del Humvee tradicional fabricado por Hummer, el FED Bravo ha conseguido un 90% de ahorro energético y aporta el sistema *Microgrid*, encargado de exportar la energía del vehículo de manera eficiente para alimentar cualquier otro dispositivo eléctrico. La información expuesta del vehículo ya fue indicada años atrás en el TFG del Teniente Pablo Vicario [12].



**Figura 8. Humvee FED Bravo. Fuente: Teniente Pablo Vicario [12].**

### 2.3.2. Camión híbrido Oshkosh HEMTT A3.

El prototipo relativo al transporte de material y personal es el camión híbrido *Heavy Expanded Mobility Tactical Truck* (HEMTT), diseñado por la empresa estadounidense Oshkosh. Esta alimentado por un sistema de propulsión híbrido diésel-eléctrico llamado ProPulse (ver Apéndice B), consta con un MCI de 460 CV que impulsa las ruedas delanteras y transmite parte de la energía cinética a un generador produciendo 200 kW adicionales que alimentan los motores eléctricos de propulsión de las ruedas traseras. El camión ofrece una carga útil de 13 toneladas y aumenta un 20% la eficiencia del combustible, dependiendo de la conducción.

Está formado por un sistema híbrido en serie (véase apartado 3.1.1.), pero combina la transmisión directa con la eléctrica a cada una de las ruedas y consta de suspensión neumática ajustable en altura. Una gran ventaja que exponen sus fabricantes es la posibilidad de extraer el motor, generador y sistema de carga en 30 minutos para poder reemplazarlo y el sistema de diagnóstico integrado en la cabina para conocer el estado del camión en cada circunstancia del combate.



**Figura 9. Vista lateral de HEMTT A3. Fuente: hybrid-vehicle.org [13].**



**Figura 10. Prueba HEMTT A3 en camino accidentado. Fuente: nbcnews.com [14].**

### 2.3.3. Vehículo táctico Shadow RST-V.

El prototipo más llamativo es el Vehículo híbrido 4x4 de Reconocimiento, vigilancia y adquisición de objetivos Shadow [15]. Se inicio el proyecto en 1997, de la mano de *General Dynamics Land Systems* y el *U.S Marine Corps Warfighting Laboratory*, patrocinado por *Defense Advanced Research Agency* (DARPA) y la *Office of Naval*



*Research* (ONR). Pretendía relevar al actual *High Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle* (HMMWV) Hummer y sus derivados (URO, Grizzly, Tigre y Falcon).

Tiene un sistema de propulsión híbrido diésel-eléctrico, basado en un MCI con turbo e intercooler, tipo DI-4V de 2.5 litros, de 114 kW. El MCI alimenta el generador y este a su vez a los motores eléctricos de cada rueda, además de cargar las baterías de litio que produce una salida de 80 kW de potencia máxima. Dispone de suspensión neumática variable en anchura (2.06 m a 1.67m) y en altura bajando la base hasta 0.1m del suelo (para su transporte en aeronaves). El sistema híbrido diésel-eléctrico permite al vehículo funcionar en cautela, híbrido y sólo con el motor. En el modo de cautela el Shadow puede ser impulsada por la batería solamente lo que proporciona una reducción significativa de las señales acústicas y térmicas.



Figura 11. Prototipo del Shadow RST-V.  
Fuente [15].



Figura 12. Prueba de conducción en Yuma, EE. UU.  
Fuente [15].

#### 2.3.4. Vehículo táctico Arquus Scarabee.

El proyecto más actual es el Scarabee [16] es un vehículo híbrido 4x4 ligero y blindado diseñado para reconocimiento, exploración y apoyo. Diseñado por Arquus, en colaboración con pymes y empresas emergentes francesas (95% proveedores franceses). Pretende sustituir el actual vehículo francés, *Véhicule Blindé Léger* (VBL) en servicio desde 1990, todavía se desconocen sus características completas, pero lo impulsan un MCI diésel y un ME asociado a baterías de iones de litio.

Puede operar con dos niveles de elevación diferentes: alto, para movilidad *offroad*, y bajo, para transporte aéreo o en carretera. Emplea un motor diésel de 300 CV y una ME con capacidad de hasta 150 CV, cabe destacar la transmisión a las cuatro ruedas donde el eje trasero rota en dirección contraria para vencer curvas muy cerradas, como en la misma dirección del eje delantero para desplazarse diagonalmente. Gracias a su tamaño muy compacto, equivalente al del VB2L, el Scarabee es transportable por aire (C-130, Chinook, A400M) y gracias a las puertas laterales deslizantes se permite acceso durante el transporte aéreo, por lo que se puede completar la configuración del vehículo directamente dentro del avión.



**Figura 13.** Vehículo híbrido Arquus Scarabee.  
Fuente: arquus-defense.com [16] .



**Figura 14.** Vehículo híbrido Arquus Scarabee en desplazamiento diagonal. Fuente: arquus- defense.com [16] .

### 2.3.5. VAMTAC ST5 híbrido.

Finalmente se recogen la versión híbrida del VAMTAC ST5. Para su desarrollo han colaborado el Instituto Universitario de Investigación del Automóvil de la Universidad Politécnica de Madrid y el fabricante UROVESA, ambas han contado con financiación del Ministerio de Defensa. El vehículo tiene una potencia de 200 kW, limitada electrónicamente a 1600 Nm, tiene 40 km de autonomía en conducción eléctrica pura, una velocidad máxima de 90 km/h, capaz de superar una pendiente del 60 % y tiene tres modos de conducción (Full Electric, Low Hybrid, Full Hybrid). Presta una autonomía de 900 km en modo híbrido y mantiene la capacidad de carga de 1100 kg.



**Figura 15.** Prototipo VAMTAC ST5 híbrido. Fuente: defensa.com [17] .



## Capítulo 3. Análisis técnico.

### 3.1. Tipos de vehículos híbridos/eléctricos.

Generalmente se conoce como vehículo eléctrico, a todos ellos propulsados, en parte o en su totalidad, por una batería que se puede enchufar o no a la red eléctrica para ser recargada. A continuación, se exponen una descripción detallada de todas sus modalidades:

- EV puro/ Todo eléctrico: un vehículo propulsado únicamente por una batería cargada por la red eléctrica. Actualmente estos vehículos gozan de una autonomía cercana a los 160km.
- Vehículo eléctrico híbrido enchufable (PHEV): vehículo propulsado por una batería enchufable y un MCI. Normalmente los PHEV's pueden tener una autonomía eléctrica pura entre 16 y 48 km, después de que se agote la batería el vehículo recupera los beneficios de la capacidad híbrida.
- Vehículo eléctrico de autonomía prolongada (E-REV): vehículo alimentado por una batería que a su vez está conectada a un MCI que genera energía para recargarla. Tienen una autonomía a nivel EV puro de 80km, pero el rango es prolongado por el generador que lleva a bordo. Con los modelos E-REV la conducción del vehículo es siempre eléctrica y marca el inicio de los modelos híbridos.
- HEV: un vehículo híbrido es aquel propulsado por una batería y/o un MCI. La fuente de energía se selecciona automáticamente por el vehículo, en función de la velocidad, potencia del motor y carga de la batería. Esta batería no puede ser enchufada a la red eléctrica, así que la carga se realiza mediante la frenada regenerativa y un MCI generador de energía eléctrica.
- Medio híbrido: este tipo de vehículos no pueden ser enchufados a la red, ni conducidos en modo EV puro. Sin embargo, obtienen su energía de la frenada regenerativa y la usan durante los períodos de aceleración.
- Microhíbrido: aquel vehículo que emplean el sistema Start-Stop y la frenada regenerativa para cargar la batería del vehículo (batería de 12 V).
- Cuatriciclo eléctrico: vehículo de cuatro ruedas categorizado y evaluado en condiciones similares a un ciclomotor (en nuestro país siguen la misma norma de matriculación) o una motocicleta de tres ruedas. Éste es propulsado por un motor eléctrico.
- Motocicleta eléctrica: solamente son propulsadas por baterías que alimentan un motor eléctrico que normalmente propulsa la rueda trasera, actualmente su autonomía ronda los 100 km. Sin embargo, existen modelos que han superado los 200 km de autonomía, como la motocicleta expuesta en el apéndice C.

### 3.1.1. Configuraciones de los vehículos híbridos.

Dentro de las configuraciones comunes encontramos sistemas en serie, donde un MCI controla un generador que da energía a una ME que impulsa el vehículo. En el sistema en paralelo, el MCI y el motor eléctrico pueden ser usados independientemente para propulsar el vehículo. El sistema power-split se basa en un sistema de transmisión epicycloidal con tres ejes (MCI, máquina eléctrica y eje de tracción) que interactúan entre sí y, aunque es muy complejo, cuenta con ventajas significativa. A continuación, se detallan sus variantes:

- Híbrido en paralelo con un embrague: es un medio híbrido que puede usar el MCI y la ME por separado. La potencia fluye en paralelo y pueden combinarse dando la potencia máxima. La mayor ventaja que ofrece es que puede mantener el tren motriz y adaptarlo a la ME y su batería. Sin embargo, la conducción eléctrica pura no es posible ya que el MCI no se puede desacoplar y reduce la capacidad de regeneración de energía.

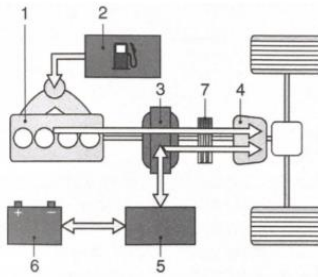


Figura 3-1. Híbrido paralelo con un embrague. 1, MCI; 2, depósito de combustible; 3, ME; 4, transmisión; 5, convertidor; 6, batería; 7, embrague. Fuente: Electric and Hybrid Vehicles, Institute of the motor industry [18].

- Híbrido en paralelo con dos embragues: extensión del anterior, el segundo embrague permite desconectar el MCI por lo que la conducción eléctrica pura es posible y aumenta la regeneración de energía durante la frenada.

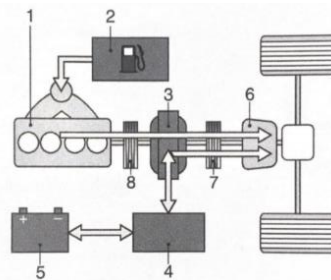
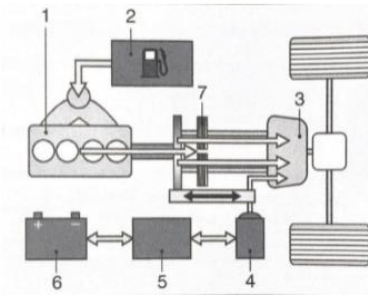


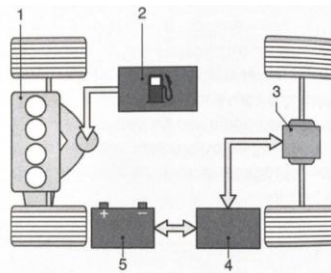
Figura 3-2. Híbrido paralelo con dos embragues. 1, MCI; 2, depósito de combustible; 3, ME; 4, convertidor; 5, batería; 6, transmisión; 7, embrague uno; 8, embrague dos. Fuente: Electric and Hybrid Vehicles, Institute of the motor industry [18].

- Híbrido paralelo con embrague doble: reduce la longitud de transmisión, la ME está conectado directamente a una subunidad del cigüeñal creando una transmisión directa. Permite conducción eléctrica pura o combinada y la ratio de transmisión entre el MCI y la ME puede ser controlada permitiendo mayor libertad en el diseño.



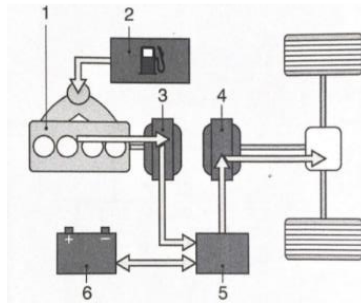
**Figura 3-3. Híbrido paralelo con embrague doble.** 1, MCI; 2, depósito de combustible; 3, transmisión; 4, ME; 5, convertidor; 6, batería; 7, embragues. Fuente: Electric and Hybrid Vehicles, Institute of the motor industry [18].

- Híbrido paralelo con eje dividido: el MCI y el ME están totalmente separados, cada uno en un eje motriz. Requiere de un sistema de transmisión semiautomático y un sistema Start-Stop. El MCI se puede desacoplar y puede funcionar vehículo eléctrico de autonomía prolongada. Ofrece tracción a las cuatro ruedas con la batería cargada y algunas veces se añade un generador al MCI para que cargue la batería incluso cuando el vehículo está parado.



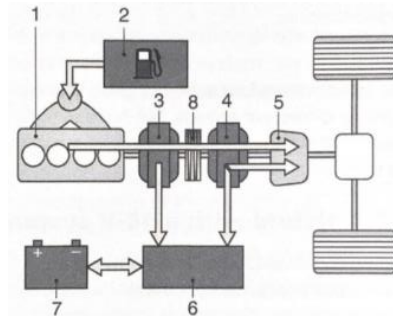
**Figura 3-4. Híbrido paralelo con eje dividido.** 1, MCI; 2, depósito de combustible; 3, transmisión; 4, ME; 5, convertidor; 6, batería; 7, embragues. Fuente: Electric and Hybrid Vehicles, Institute of the motor industry [18].

- Híbrido en serie: un MCI mueve un generador (alternador) que carga la batería que distribuye energía al motor eléctrico de las ruedas propulsoras, si las baterías están cargadas no es necesario encender el MCI y se permite la conducción eléctrica pura. En esta configuración no hay conexión mecánica entre el MCI y las ruedas, lo que permite liberar espacio en el vehículo y proporciona libertad en la colocación del MCI. La transformación de energía mecánica en eléctrica y viceversa produce pequeñas pérdidas de energía, que se pueden compensar con la mayor optimización del funcionamiento del MCI, con la eliminación o simplificación de transmisiones mecánicas, que también presentan pérdidas y con la mayor libertad de diseño que supone eliminar la transmisión entre el MCI y las ruedas tractoras. Esta configuración es más común en buses, camiones y trenes.



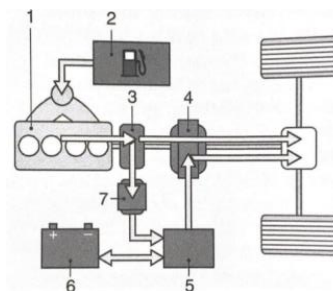
**Figura 3-5. Híbrido en serie.** 1, MCI; 2, depósito de combustible; 3, alternador/generador; 4, ME; 5, convertidor; 6, batería. Fuente: Electric and Hybrid Vehicles, Institute of the motor industry [18] .

- Híbrido serie-paralelo: extensión del anterior añadiendo un embrague que puede conectar mecánicamente el ME y el generador, eliminando la doble conversión de energía mejorando el rendimiento. Por otro lado, ocupa mayor espacio en la configuración, puesto que añade un embrague y una transmisión.



**Figura 3-6. Híbrido serie-paralelo.** 1, MCI; 2, depósito de combustible; 3, alternador/generador; 4, motor eléctrico; 5, transmisión; 6, convertidor; 7, batería; 8, embrague. Fuente: Electric and Hybrid Vehicles, Institute of the motor industry [18] .

- Híbrido power-split: combinación del sistema paralelo y en serie por lo que presenta mayor complejidad mecánica debido al conjunto de engranajes planetario o epicicloidales. El MCI alimenta el generador y este al motor eléctrico, a su vez el conjunto de cambios está conectado al MCI, motor eléctrico y generador, lo que hace que la velocidad del MCI se ajuste independientemente de la velocidad del vehículo lo que produce un sistema de transmisión variable electrónica constante. Los vehículos fabricados por Toyota [19] suelen utilizar esta topología, utilizando el ME como motor y generador según el régimen de funcionamiento.



**Figura 3-7. Híbrido power-split.** 1, MCI; 2, tanque de combustible; 3, conjunto de embrague planetario; 4, ME; 5, convertidor; 6, batería; 7, generador. Fuente: Electric and Hybrid Vehicles, Institute of the motor industry [18] .

### 3.2. Start-Stop Engine.

Este sistema equipa diferentes sensores: sensor de marcha neutral, sensor de velocidad de la rueda y el sensor del cigüeñal que informan si el automóvil está en movimiento o estacionario. Un controlador del motor coordina los procesos de arranque y parada y los armoniza con el sistema de gestión del motor. El sensor electrónico de batería (EBS) informa sobre el estado de carga, voltaje y temperatura de la batería. Como el voltaje en la red a bordo cae brevemente cada vez que se arranca el motor, es necesaria una compensación para garantizar el correcto funcionamiento de dispositivos importantes y asistentes electrónicos. Para que el motor de arranque resista las tensiones asociadas con el mayor número de arranques y no se desgaste prematuramente, los componentes de la unidad de arranque sometidos a un esfuerzo particular están reforzados y diseñados para una larga vida útil.

Cuando el conductor se detiene y establece la transmisión en neutral, el sistema Start-Stop detiene el motor. Con algunos modelos más recientes, el motor incluso se apaga si la velocidad cae por debajo de cierto valor. Aunque el motor, y por lo tanto la fuente primaria de energía para todos los sistemas, está apagado, todos los consumidores y asistentes eléctricos aún reciben energía, gracias a la batería del vehículo. Para vehículos con transmisiones automáticas (como los blindados del ET), el sistema responde a la actuación del freno. Si el vehículo se frena y el pie del conductor permanece sobre el pedal del freno, el sistema de arranque y parada automático detiene el motor. Cuando se suelta el freno, el sistema automático vuelve a arrancar el motor.

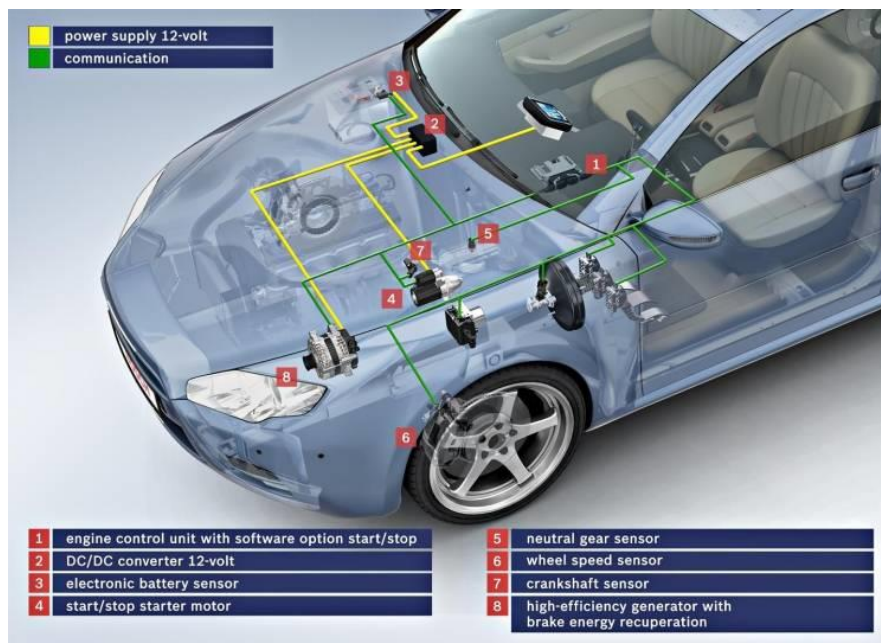


Figura 16. Sistema Start-Stop. Fuente: greencarreports.com [20] .

### 3.3. Diferencial electrónico.

En vehículos híbridos con varios motores eléctricos que accionan diferentes ejes o ruedas tractoras, la transmisión mecánica diferencial se puede sustituir por una transmisión

electrónica diferencial que ofrece gran control sobre uno o varios motores eléctricos y estos a su vez a las ruedas. El control electrónico diferencial suministra el par requerido para cada rueda tractora a la vez que permite que las ruedas giren a diferentes velocidades. Para poder suministrar a cada rueda el par que requiere, el control toma como señales de entrada la posición del volante (así como las ruedas), del acelerador y las velocidades de los motores y con esos datos obtenidos estima el par necesario a cada rueda. Se elimina la estructura metálica pesada, que limita el diseño del chasis y disminuía la eficiencia del sistema de transmisión (evita posibles daños en los bloqueos al carecer de ellos) y facilita la conducción, aportando mayor estabilidad en las curvas, ahorro energético y la posibilidad de afrontar obstáculos fácilmente.

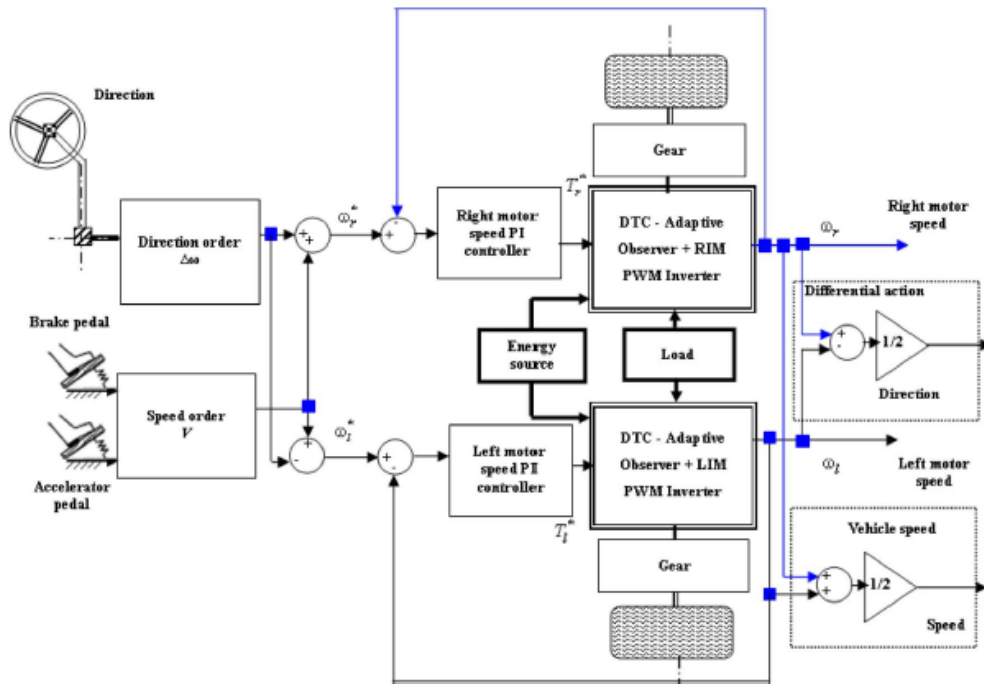


Figura 17. Diagrama del sistema de propulsión y control del diferencial electrónico. Fuente: Institute of Electrical and Electronics Engineers [21] .

### 3.4. Baterías.

Las baterías de vehículos eléctricos (BEV) son un factor muy importante en esta clase de vehículos, hay numerosos diseños y materiales de las que están compuestas, pero aun así su desarrollo sigue siendo uno de los desafíos científicos actuales. Para la aplicación a híbridos destacan las siguientes:

- Baterías plomo-ácido (VRLA): son buenas candidatas para formar BEV'S. Se caracteriza por tener una tecnología madura, bajo coste de producción, carga rápida elevada potencia específica, resistente a variaciones de temperatura y de tamaño. Pero presenta una baja energía específica, gran peso debido al plomo que lo forma y la falta de capacidad de almacenaje prolongada.
- Batería níquel-metal hidruro (Ni-MH): presenta una elevada densidad de energía y energía específica por lo que a corto plazo es candidata para formar BEV's.

Además, tienen capacidad de carga rápida, gran ciclo de vida y pueden ser reciclada. Su principal desventaja es el elevado costo inicial.

- Batería níquel-zinc (Ni-Zn): caracterizada por su energía y potencia específica, bajo coste y el relativo gran rango de temperaturas de trabajo ( $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $50^{\circ}\text{C}$ ), pero su pequeño ciclo de vida lo limita para desarrollar BEV's.
- Batería de níquel-cadmio (Ni-Cd): sus principales defectos son el elevado coste inicial y la baja energía específica que presenta. Como ventajas ofrece un ciclo de vida prolongado, capacidad de carga rápida, rango de temperaturas de trabajo ( $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $45^{\circ}\text{C}$ ), pequeña ratio de auto descarga (10% mensual), almacenamiento prolongado y variable en tamaño y diseño.
- Batería ion-litio (Li-ion): presenta grandes expectativas para formar BEV's, a pesar de estar aún en desarrollo. El coste elevado y la ratio de auto descarga limitan sus capacidades, pero presenta las mejores características con respecto a sus rivales y además presenta la mayor capacidad de ser reciclada y es considerada la más segura.

	Energía específica (Wh/kg)	Densidad de energía (Wh/l)	Potencia específica (W/kg)	Voltaje de célula nominal (V)	Ciclos de vida
<b>VRLA</b>	30-45	60-90	200-300	2.1	400-600
<b>Ni-Cd</b>	40-60	80-110	150-300	1.35	600-1200
<b>Ni-Zn</b>	60-65	120-130	150-300	1.65	300
<b>Ni-MH</b>	60-70	130-170	150-300	1.2	600-1200
<b>Li-ion</b>	90-130	140-200	250-450	3.5	800-1200

**Tabla 2. Parámetros de las BEV's. Fuente: elaboración propia, basada en [22] y [18].**

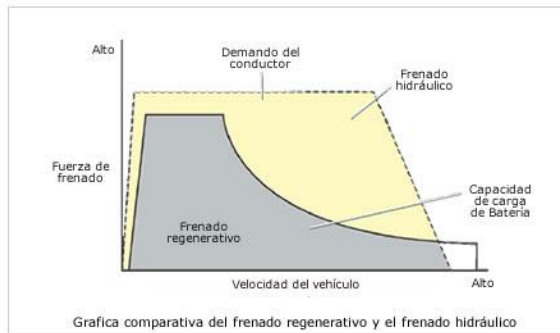
### 3.4.1. Frenada regenerativa.

El freno regenerativo es un sistema que permite recargar las baterías de un vehículo eléctrico o híbrido cuando se pisa el pedal del freno. Los frenos regenerativos consisten en hacer que el ME cambie su sentido de giro (ya no propulsa las ruedas) oponiendo una resistencia. El eje de transmisión y el ME están unidos mecánicamente, cuando las ruedas motrices hacen virar el ME venciendo dicha resistencia al giro se transmite una fuerza de frenos regenerativos desde el ME a las ruedas motrices consiguiendo frenar el vehículo y haciendo trabajar al ME como generador de energía eléctrica, por lo tanto se transforma la energía cinética de las ruedas en corriente que se almacena en las baterías.

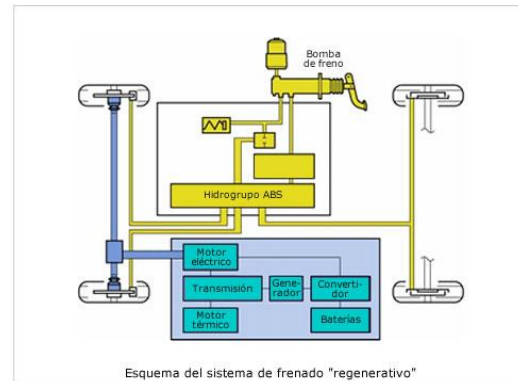
El sistema está compuesto por el sistema de frenada regenerativa, los frenos hidráulicos tradicionales y un elemento de control para coordinar ambas capacidades de freno debido



a que la fuerza del freno regenerativo en ocasiones no es suficiente para detener el vehículo, en función de la presión del pedal se activa uno u ambos frenos produciéndose la generación de energía en todo momento.



**Figura 18. Grafica comparativa de frenos. Fuente: aficionadosalamecanica.net [23].**



**Figura 19. Esquema Sistema frenado regenerativo. Fuente: aficionadosalamecanica.net [23].**

## Capítulo 4. Estudio requerimientos tácticos y logísticos.

Las misiones de las que se encarga el ET español requieren de una gran capacidad de adaptación y flexibilidad tanto en personal como en los medios que utilizan, en parte debido a los diferentes países en los que opera, tales como Irak, Malí, Afganistán o Letonia. Por ello es importante que los vehículos en los que realizan las misiones cumplan una serie de requisitos y así han de cumplir los posibles modelos híbridos. Para ello se ha tomado como referencia el Vehículo de Alta Movilidad Táctica (VAMTAC) ST5 [24] siendo el más moderno actualmente en dotación, el vehículo Táctico Ligero Multirol (VTLM) “Lince” [25] y el camión IVECO 7226.

### 4.1. Requerimientos tácticos.

#### 4.1.1. Movilidad de los vehículos.

La movilidad es una de las principales características que ponen en duda la viabilidad de implementar un vehículo híbrido en el ámbito militar, tras entrevistar a soldados cuyo puesto táctico era el de conductor y a diferentes mandos jefes de vehículo encargados de dirigirlos daban a conocer la falta de confianza en que estos sistemas fueran capaces de moverse por los campos de maniobras y en teatro de operaciones (TO) como lo hacen los vehículos actuales. En el ámbito civil el número de pruebas de conducción off-road de vehículos híbridos 4x4 es escasa, por lo que en el ámbito militar es prácticamente nula la investigación, lo que refuerza esa desconfianza. Por lo tanto, el empleo de esta clase de vehículos sin la certeza de su rendimiento en toda clase de terrenos, transportando al personal y el material necesario (blindaje, sistemas de armas y equipo de la tripulación)



opaca su aplicación en un futuro próximo ya que influye directamente con la seguridad del personal y las posibilidades de cumplir con la misión.

El vehículo híbrido táctico (VHT) tendría que prestar una elevada movilidad táctica y estratégica. La movilidad táctica es la capacidad del vehículo para desplazarse por el campo de batalla, esta capacidad está condicionada por el sistema de propulsión (en este caso híbrido), el sistema de transmisión, la dirección, el sistema de frenos, el tren de rodaje y los medios de visión nocturna y diurna. Es necesario que la potencia de los vehículos sea suficiente para desplazarlo por toda clase de terreno, con rapidez y cientos de kilómetros, por lo requiere una autonomía elevada. Así mismo todo el conjunto debe ser extremadamente fiable y fácil de reparar o sustituir en caso de necesitarlo en TO y asegurando una alta capacidad todoterreno y de tracción a todas las ruedas que lo formen.

La movilidad estratégica hace referencia a la capacidad de proyección de los medios a TO, las dimensiones y peso del vehículo han de ser las apropiadas para su transporte en aeronaves y buques nacionales.

A continuación la tabla muestra las características de vehículos en dotación en el ET como el Blindado Medio Ruedas (BMR) [26] , el Vehículo Táctico Ligero Multirol (VTLM) “Lince” y el VAMTAC ST5 a los que tendría que igualar o mejorar el VHT.

	VAMTAC ST5	VTLM “Lince”	BMR
<b>Masa máx. autorizada (toneladas)</b>	9.5	7.8	15.4
<b>Potencia (kW)</b>	162	140	231.6
<b>Autonomía (km)</b>	538	500	800
<b>Par máx. (Nm)</b>	500	456	1600
<b>Velocidades</b>	6 Del + 1 Tras	6 Del + 1 Tras + 2 reductoras	6 Del (en 4 gamas) + 1 Tras
<b>Transmisión</b>	Traccion total 4x4 permanente con diferencial en transferencia.	Traccion total 4x4 permanente con diferencial en transferencia.	Traccion 6x6 permanente con diferencial central con 3 bloqueos.
<b>Frenos</b>	Hidráulico ABS	Neumohidráulico ABS	Hidráulico
<b>Vel. Máx carretera (km/h)</b>	118	110	100
<b>Pendiente máx.</b>	78% (limitada por adherencia al terreno y carga)	60% (limitada por adherencia al terreno y carga)	60% (limitada por adherencia al terreno y carga)
<b>Peniente máx. lat.</b>	50%	30%	30%
<b>Consumo a 80 km/h</b>	26l / 100km	20l / 100km	40l / 100km
<b>Cap. Vadeo (cm)</b>	85	100 a 150	120
<b>Cap. Combustible (l)</b>	140	130	275/110 (auxiliar)

Tabla 3. Comparativa vehículos tácticos. Fuente: elaboración propia, basada en [24] , [26] y [25] .

Todas estas características están enfocadas a capacitar a los vehículos a desplazarse en los terrenos más adversos y variantes donde encontrarán arena, gravilla, rocas, vegetación variada, pasos de agua y deformaciones del terreno, estos obstáculos del terreno podrán estar en terreno llano o en pendientes de diferentes inclinaciones, tanto laterales como frontales. Además, las inclemencias meteorológicas dificultarán la maniobra debido a que empeoran la traición de los vehículos y dificultan el funcionamiento de los motores y baterías, por lo que un VHT que portaría ambos y de dimensiones variadas en función del diseño (Ej. baterías de 300V) pueden poner en peligro a la unidad. Tales inclemencias son lluvia, nieve y las temperaturas extremas ( $-40^{\circ}\text{C}$  hasta  $+50^{\circ}\text{C}$ , vistos en TO). Por lo que el motor, las baterías y el tren de rodaje tiene que asegurar su funcionamiento en estas circunstancias. A la vez los posibles VHT's deben ser flexibles y mantener las capacidades del transporte de personal y material en carretera ya que pueden formar parte del elemento de protección y escolta en convoyes tanto en TO como en territorio nacional, por lo que deben circular a las velocidades adecuadas en las vías públicas.



**Figura 20. Carretera en Afganistán. Fuente: freepik.es [27] .**

Al mismo tiempo debe estar dotado de un sistema de alumbrado flexible, apto para la movilidad por carreteras públicas cumpliendo las leyes de circulación, por lo que necesita luces de posición, cortas, largas, luces de niebla, marcha atrás, luces intermitentes (más luces de emergencia), luces de los paneles de control (salpicadero) y luces de freno, que proporciona visibilidad y seguridad a la conducción. En ambiente táctico nocturno son necesarias las luces internas (paneles de control de transmisiones y linterna para mapas) y las externas para circular en ambiente nocturno: luces oscurecidas de posición, de parada y de marcha (las llamadas luces de guerra).

Por último, con respecto a la movilidad, un batallón (BON) de infantería ligera cuenta con variedad de vehículos, que adoptan diferentes puestos tácticos por lo que la homogeneidad en la movilidad de la flota es muy importante. Actualmente no todas las unidades motorizadas del ET cuentan con flotas homogéneas de vehículos, por ello han de instruirse con diferentes tipos de blindados y ligeros que no presentan la misma movilidad. Esta restricción hace que maniobrar con la toda la unidad desplegada por el campo de batalla sea difícil (Ej. Un VAMTAC puede maniobrar por mayores pendientes que un Lince) produciendo cambios en los procedimientos y en la táctica de las unidades

de combate. Por lo tanto, se requiere al VHT que ofrezca esa movilidad homogeneizada a todos los puestos tácticos del BON.

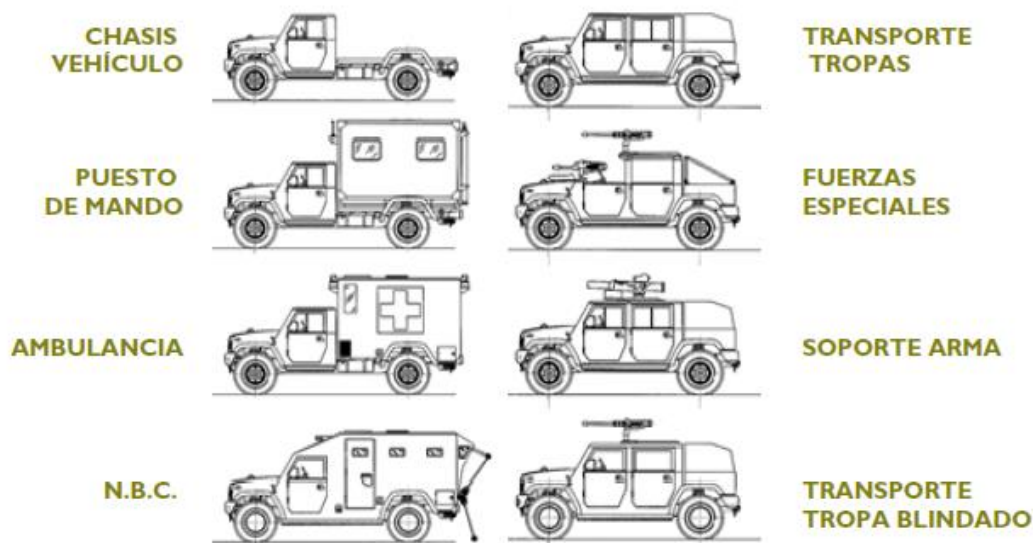


Figura 21. Configuraciones vehículos tácticos. Fuente: IVECO [25].

#### 4.1.2. Protección pasiva y activa de los vehículos.

En cuanto a la protección pasiva del VHT lo más relevante es el blindaje del vehículo y se añaden las medidas de protección NBQ-R.

Cuando se expresan los requisitos con respecto al blindaje, se requiere dividir el vehículo en la cabina, conocida como “célula de supervivencia” para el personal, la caja del material y la parte inferior con todo lo concerniente a la propulsión del vehículo. En el caso del VHT el espacio inferior es menor ya que el sistema de propulsión híbrido con la batería, el motor o motores eléctricos y el MCI ocupan un mayor volumen, reduciendo la cantidad de blindaje inferior. Por tanto, condiciona su viabilidad a la hora de proporcionar protección adecuada frente explosiones provenientes del suelo y aumenta la probabilidad de que la tripulación sufra mayor daño.

Los requisitos comunes para preservar la vida del personal de vehículo son estructuras protección inferior contra minas y amenazas IED (mínimo protección de clase 2 A, minas de TNT de 6 kg), protección contra el fuego directo en todas las paredes y cristales del vehículo que conforman la cabina, protección contra granadas en el techo, paneles de protección en la escotilla del tirador, estructura tubular interna antivuelco, asientos de absorción de energía para minas pesadas, cinturón de seguridad y puertas con paneles de protección y cierres adicionales. Muchos de los requisitos son obvios para la supervivencia de la tripulación y otros se han implementado tras las lecciones aprendidas en TO, ya que los procedimientos del enemigo varían en función del país donde se despliega.

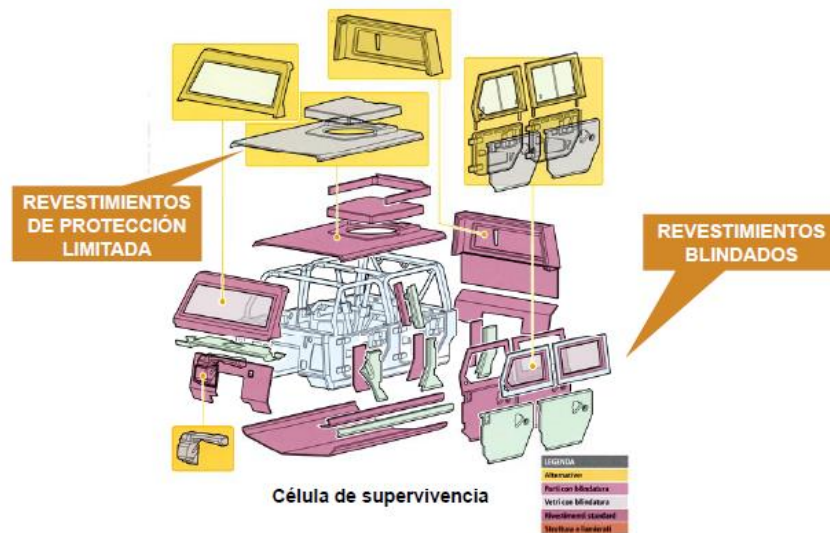


Figura 22. Blindaje del VTLM. Fuente: IVECO [25] .

En el caso de medidas contra ataques NBQ-R, el vehículo debe impedir el acceso de cualquier tipo de agente contaminante al interior de la cabina, aun así, los fabricantes de esta clase de vehículos aconsejan que la tripulación lleve el equipo de protección individual, por lo que la posible tripulación de un VHT si la ocasión lo demandara también debería portarlo. Aprovechando la capacidad electrónica del VHT, sería conveniente implantar un sistema de estanqueidad completa en la cabina de la tripulación junto a un filtro que purgara el aire exterior para facilitar la supervivencia de las unidades durante el periodo que el VHT se encuentre expuesto al agente o radiación.

Con respecto a la seguridad activa, es imprescindible la instalación de una estructura que soporte el armamento de dotación el ET y asegure su correcto funcionamiento, siendo fácil de instalar y manejar por el tirador del vehículo y favorezca un fuego preciso. Serían necesarios sistemas bivalentes y polivalentes para acoplar a los VAMTAC ST5 y al VTLM las diferentes ametralladoras, tanto la MG-4 (5,56 mm), la MG-42 (7,62mm) o la Browning (12,70 mm) y la lanza granadas automático LAG-40 (40 mm), que proporcionan potencia de fuego a las unidades de primera línea.

#### 4.1.3. Medios CIS.

En cuanto a los medios de transmisión de voz y datos es necesario que el VHT contenga por un lado de una estructura polivalente de instalación vehicular para las diferentes versiones del radioteléfono PR4G, tanto el modelo 9200 como la versión moderna PR4G- V3. La instalación se ubicaría entre los asientos del conductor y el acompañante jefe de vehículo, por lo que debe concordar con el diseño de la cabina y debe ser sencillo para que la tripulación pueda instalar la radio fácilmente.

Por otro lado, debe estar dotado del sistema de conexiones, cableado y medios de recepción y emisión para enlazar los diferentes vehículos del batallón, teniendo en cuenta que los puestos de mando (tanto BON, como compañía y sección) enlazan con el escalón superior y sus subordinados. Para hacer posible la comunicación con todos los niveles, se

precisan varias instalaciones vehiculares en los vehículos de los jefes de pequeñas unidades<sup>1</sup> (PU).

## 4.2. Logística.

La adquisición de vehículos híbridos en el ET cambiaría las necesidades logísticas del batallón generando nuevos frentes a los diferentes escalones de mantenimiento y dificultaría el apoyo logístico en campaña debido a la necesidad de nuevos materiales y recursos.

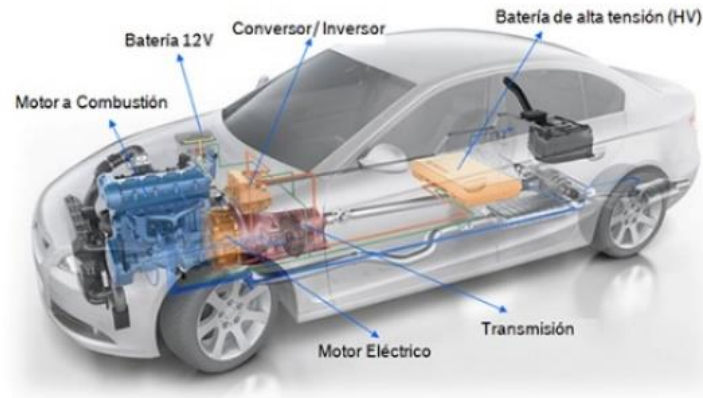
### 4.2.1. Mantenimiento.

Los requerimientos en el mantenimiento se reducen a dos tipos: materiales y de personal.

Con respecto a los materiales el VHT estaría equipado con los componentes de un motor de combustión común y necesitan el mismo tipo de mantenimiento, además de periódicos cambios de filtros de aire y aceite. Pero la regularidad es diferente debido a que la parte eléctrica soporta parte del esfuerzo que normalmente recae sobre el motor de combustión y elementos agregados por lo que las reposiciones son más espaciadas en el tiempo. Los elementos de los frenos también necesitan de cambios menos frecuentes, debido a las características de aprovechamiento de frenado de estos vehículos. Teniendo en cuenta la aplicación militar y la parte electrónica, se pone a prueba la fiabilidad y calidad del material haciendo necesaria la dotación y adquisición de grandes cantidades de repuestos electrónicos con un precio más elevado y con características más sofisticadas: cables de alta tensión, la unidad de control de baterías, baterías de gran almacenaje, generadores/alternadores, unidades de carga, diferencial electrónico o motores eléctricos. Además de las piezas de repuesto de los vehículos se necesitaría la adaptación de los talleres de mantenimiento de 2º Escalón presente en los batallones adquiriendo herramientas nuevas (ver Apéndice E).

---

<sup>1</sup> Pequeña unidad: estructura orgánica dotada de capacidades determinadas de combate, apoyo al combate o apoyo logístico al combate, para el desarrollo de una necesidad operativa. Engloban desde el Regimiento hasta la escuadra.



**Figura 23. Principales componentes de un vehículo híbrido. Fuente: talleractual.com [28] .**

A su vez todos los especialistas en automoción de los escalones de mantenimiento de las unidades (2º Escalón), como los Grupos y Agrupaciones Logísticas (3er Escalón) y los Parques y Centros de mantenimiento específicos (4º Escalón) tiene que ser formados en operar en el nuevo entorno. Para ello deben conocer la organización de un taller adaptado a vehículos híbridos, medida de seguridad al trabajar con altas tensiones y la propia reparación electrónica y mecánica del vehículo. Y no solo deben de ser capaces de realizar estas tareas en los acuartelamientos, sino que deben trasladar sus servicios al campo de batalla.

## Capítulo 5. Aplicaciones al batallón de infantería ligera.

El Vehículo Híbrido Táctico y su posible incorporación a los batallones de infantería ligera aportarían numerosos cambios al funcionamiento de estas unidades. Modificarían las necesidades logísticas y contribuirían a variaciones en la táctica y manera de empeñar los medios. Atendiendo a las características técnicas de los vehículos híbridos y las funciones que realizan las unidades de un BON, a continuación, se recogen sus aplicaciones prácticas.

### 5.1. Aplicaciones tácticas de la hibridación de vehículos.

La composición de un batallón de infantería nos orienta en cómo aprovechar la tecnología híbrida. El BON lo forman tres compañías de fusiles, una compañía de mando y apoyo y la compañía de servicios. Éstas aprovecharían los vehículos híbridos en función de sus cometidos.

La primera aplicación de la tecnología híbrida recae en la movilidad de los vehículos, esta capacidad es aprovechable por todas las unidades del batallón. Al contar con un sistema híbrido se instalaría en los vehículos el sistema diferencial electrónico, proporcionando mayor maniobrabilidad, estabilidad y capacidad tractora a los vehículos. Con esta herramienta se puede maniobrar más fácilmente el campo de batalla, accediendo a accidentes del terreno más pronunciado, ya que facilita vencer las irregularidades del terreno, aportando el par específicamente calculado a cada rueda en función del contacto con el terreno. Por lo tanto, ofrece al jefe de la PU mejor capacidad de adaptación al terreno para establecer su despliegue. En situaciones estáticas (posiciones defensivas, bases de patrullas<sup>2</sup>) ayuda a ocupar posiciones más ventajosas que antes no se podían alcanzar ofreciendo mayor seguridad al aprovechar mejor el alcance de las armas, y en situaciones dinámicas facilita el rebase de obstáculos sin retrasar la maniobra.

En segundo lugar, la protección y la seguridad de los vehículos puede verse mejorada gracias a la conducción puramente eléctrica. Este modo de conducción fue denominada “modo cautela” para el Shadow [15] cuando fue diseñado. Sus principales aportaciones al combate son la eliminación del fuerte ruido de los grandes motores diésel de los vehículos militares y la reducción casi total de la firma térmica del vehículo. Gracias a esta característica se obtiene mayor capacidad de ocultación, evitando ser detectado por el enemigo en diferentes misiones. Además, se cuenta con la aplicación del sistema Start-Stop en los vehículos. Actualmente una de las tareas del jefe de la PU (tipo sección) es gestionar cuando encender el MCI del vehículo para evitar que se produzca una descarga

---

<sup>2</sup> Base de patrullas: zona del terreno donde una unidad se acoge para permanecer durante un tiempo prolongado (4 horas < BP < 24h, pero quizás pueda ser mayor) y que le proporciona seguridad contra la posibilidad de ser detectado por el enemigo.

de las baterías mientras se emplean los sistemas electrónicos, ya que puede dejar el vehículo inoperativo temporalmente. Con el sistema activado los vehículos que ocupen posiciones estáticas durante largos periodos de tiempo no agotarían las baterías, permitiendo gestionar la demanda energética automáticamente y permitiendo usar los sistemas adicionales sin restricciones energéticas.

Por último, la aplicación táctica más tangible es capacitar al vehículo de gran potencia eléctrica a bordo. La energía eléctrica no solo puede almacenarse en las baterías, sino que pueden cargarse por sus propios medios (ya sea con el sistema de frenada regenerativa o que el MCI accione el generador). La potencia adicional que se obtiene posibilita la eliminar parcialmente el problema de las baterías de los equipos portátiles instalando terminales de carga (para radio, GPS, walkie, teléfonos móviles, tables y ordenadores portátiles) en cualquiera punto del campo de batalla. Así mismo, favorece la instalación de sistemas de armas más potentes de control remoto y mayor letalidad con armas más modernas. En función de la potencia aprovechable el vehículo podría alimentar la red eléctrica de un PC de batallón, incluso pudiendo llegar a satisfacer las necesidades energéticas de un nido de heridos.

#### 5.1.1. Reconocimientos.

Dentro del BON la Sección de Reconocimiento<sup>3</sup> (SERECO) puede aprovechar la conducción eléctrica pura para realizar reconocimientos en profundidad más próximos al enemigo, evitando ser detectados y obteniendo información más precisa.

#### 5.1.2. Ofensiva

- Conducción eléctrica pura: se ofrece mayor sigilo en diferentes fases del ataque o posibles maniobras, aprovechando los 20-30 km de autonomía. Se puede aprovechar para realizar flanqueos o desbordamientos a unidades, infiltraciones en territorio enemigo para ejecutar acciones en profundidad (Ej. Eliminar PC enemigo, tren logístico o centro de transmisiones). Se podrá avanzar desde la zona de reunión (ZRN) hasta la base de partida<sup>4</sup> reduciendo la capacidad del enemigo de detectar las unidades y manteniendo la sorpresa e iniciativa propia hasta el contacto directo con el enemigo.
- Elevada capacidad energética a bordo: instalación de sistemas de armas con control que exijan mayor consumo energético, como el sistema Mini Samson implementado en nuevo 8x8 [29] .Con ello evitamos que un combatiente este expuesto fuera del vehículo para manipular el armamento (aunque tenga que salir

<sup>3</sup> SC. Reconocimiento: se dirigen hacia objetivos o zonas concretas, todas de Apoyo al ejercicio del Mando de Batallón, adoptando normalmente las modalidades de reconocimiento en profundidad o de combate.

<sup>4</sup> Base de partida: zona del terreno donde una unidad tipo compañía se acogen durante un breve periodo de tiempo antes de lanzar el ataque.



en caso de fallo del sistema automático). Incluso llegando a emplear armas más modernas que utilizan la energía eléctrica para dañar al enemigo.

### 5.1.3. Ocupación del terreno.

Cuando en combate convencional se ocupan posiciones defensivas (POSDEF), se realiza la consolidación del terreno tras una ofensiva u ocupa una ZRN, y en misiones de estabilización se establece una base de patrullas, el empleo de la conducción eléctrica del vehículo aporta seguridad a la maniobra. La acogida, desplazamientos y abandono, de las zonas ocupadas favorece a la disciplina de ruidos por lo que el movimiento de tropas propias disminuye su impacto acústico, evitando ser detectado por los elementos de exploración del enemigo.

Dentro del plan de defensa, el jefe de la PU debe planificar tareas de construcción de obstáculos, a nivel sección se encuentra el obstáculo perimetral<sup>5</sup>. Aprovechando la elevada capacidad energética a bordo de los vehículos se podría implementar un sistema de alambrada electrificada portátil, proporcionando mayor letalidad y seguridad a los miembros empeñados en la defensa. Estaría alimentado por las baterías del VHT y tendría diferentes sistemas de control, para activarlo o apagarlo y controlar su alimentación. El empleo de la vallas electrificadas ya fue empleado por los alemanes en la Primera Guerra mundial [30] a las que llamarón Alambrada de la Muerte (en neerlandés: *Dodendraad*), confirmando entre 2000 y 3000 bajas.

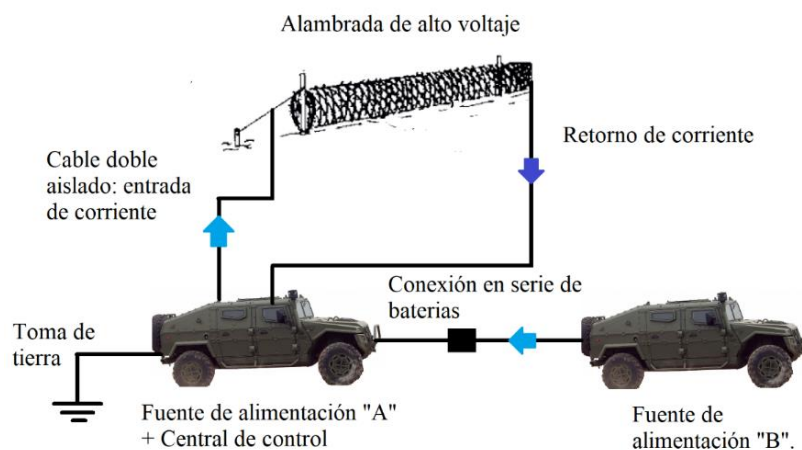


Figura 24. Esquema de posible valla eléctrica portátil. Fuente: elaboración propia.

## 5.2. Beneficios logísticos de la hibridación de vehículos.

La logística del batallón la realiza la sección de servicios en coordinación con los auxiliares de las diferentes compañías. La aplicación de la tecnología híbrida en el apoyo logístico recae en sus tareas de abastecimiento y mantenimiento. Los vehículos de

<sup>5</sup> Obstáculo perimetral: obstáculo realizado por la unidad de maniobra que ocupa el terreno para frenar la ofensiva del enemigo, normalmente esta constituido de alambradas y tapones de minas.

transporte de material y personal como el IVECO 7226 serán capaces de mejorar la movilidad y reducir la emisión de ruido y la fibra térmica en los transportes dentro de la zona de combate avanzada. Tanto el tren logístico avanzado como el retrasado pueden evitar ser descubiertos, haciendo que el enemigo no sea capaz de detectar las rutas de abastecimiento.

La implantación de sistemas híbridos en camiones ofrece la posibilidad de configurar un sistema de propulsión en serie, éste gracias a su diseño consigue mayor separación de la parte inferior del vehículo con el suelo, ofreciendo mayor protección frente a minas o amenazas IED.

Una de las aportaciones económicamente tangible es la reducción del consumo de combustible, llegando a reducir un 10% su consumo. Todo ello gracias a la frenada regenerativa de energía eléctrica y reducción del tamaño de los MCI (por lo que el consumo es menor). Por lo tanto, las necesidades de combustible de las unidades de vanguardia se reducen. A su vez, las unidades de vanguardia serían capaces de generar su propia energía eléctrica, eliminando la necesidad de transportar grupos electrógenos.

### 5.3. Camión híbrido de transporte.

La aplicación de un VHT al batallón de infantería operar en todos los puestos tácticos aún está lejos. Sin embargo, se puede empezar a trabajar con estos medios de tecnología híbrida que presenten mayor grado de madurez. El objetivo es empezar a obtener información de primera mano sobre las capacidades reales y adaptabilidad al desempeño en el ámbito militar de los vehículos híbridos.

Para ello se propone realizar un prototipo de camión híbrido, mediante la instalación de un sistema híbrido de propulsión al camión IVECO 7226. De cara a su desarrollo, los primeros diseños suelen contar con la configuración en serie con un único motor eléctrico de tracción ya que requiere menos cambios respecto los diseños actuales. Se prescinde la adquisición de un prototipo y se decanta por la hibridación de un modelo existente por dos motivos: ahorrar costes y debido a que es una versión para poner a prueba y obtener resultados para asentar las bases de esta tecnología en el ejército.

Se ha realizado un análisis de requisitos en la tabla 4 y su posterior matriz de decisión (Tabla5) para valorar los fabricantes potenciales, estos serán fabricantes de autobuses híbridos ya que la conducción fuertes y continuas aceleraciones también son habituales en la conducción *off-road*. Una vez elegido el proveedor de la tecnología se iniciaría el proceso instalación del sistema híbrido (presente en la figura 30) al camión en dotación. Atendiendo a la naturaleza del sistema de propulsión (autobuses híbridos), se realizaría la adaptación del sistema de transmisión de autobuses al tren de rodaje sobre ruedas del camión propuesto para la adaptación.

Finalmente, con el prototipo desarrollado se propone la entrega del prototipo a un batallón de infantería durante un mes. De esta manera se pretende tomar datos sobre su rendimiento y la adquisición de experiencia para poder desarrollar un modelo totalmente operativo y funcional que haga realidad la implantación de estos medios en el ejército.

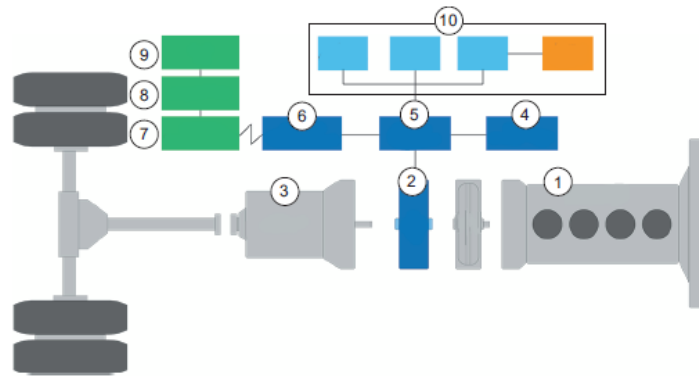


Figura 25. Elementos híbridos requeridos para prototipo. 1, MCI; 2, ME; 3, Caja de cambios; 4, Sistema de almacenamiento eléctrico; 5 Componentes electrónicos; 6, interfaz de carga a bordo; 7, Interfaz de carga fuera del vehículo; 8, Cargador eléctrico; 9, Red; 10, Elementos auxiliares eléctricos. Fuente: VOLVO Bus [31] .

Requisitos	Valoración		
	1	2	3
<b>Autonomía</b>	200-300 km	300-500 km	Más de 500 km
<b>Autonomía eléctrica</b>	5-10 km	10-15 km	Más de 15 km
<b>Potencia ME</b>	90-120 kW	120-150 kW	Más de 150 kW
<b>Potencia MCI</b>	200-250 CV	250-300 CV	Más de 300 CV
<b>Adaptabilidad</b>	Inplantación en vehículos entre 4 - 6 m	Inplantación en vehículos entre 6 - 12 m	Inplantación en vehículos mayores de 12 m

Tabla 4. Requisitos técnicos para los proveedores. Fuente: elaboración propia.

Valoración posibles proveedores				
	Nikola and Bosh	Volvo	IVECO	BYD
<b>Autonomía</b>	2	2	2	2
<b>Autonomía eléctrica</b>	1	1	1	1
<b>Potencia ME</b>	1	2	2	1
<b>Potencia MCI</b>	2	2	1	2
<b>Adaptabilidad</b>	3	3	3	3
<b>Total</b>	7	10	9	8

Tabla 5. Matriz de decisión empresa automoción híbrida. Fuente: elaboración propia.

## Capítulo 6. Conclusiones y trabajo futuro.

En este trabajo se han revisado las principales tecnologías y topologías híbridas aplicables a vehículos militares. Durante la elaboración del trabajo se ha llegado a la conclusión de que el desarrollo militar de la tecnología híbrida está empezando a asentar sus bases. Cada vez son más presentes los vehículos híbridos en las calles de las ciudades, ya sea como vehículos particulares o como medios de transporte y servicios públicos. De la búsqueda del estado de arte y del estudio de mercado, queda patente que los vehículos híbridos son una tecnología suficientemente madura en el ámbito civil, pero esa tecnología solo se ha encontrado aplicada a prototipos en vehículos militares.

Las empresas que desarrollan sus investigaciones enfocadas en materia de defensa están empezando a presentar cada vez más prototipos de vehículos híbridos para su desempeño en el ámbito militar (tanto para el combate como para el transporte de material). Una dificultad encontrada en la elaboración de este trabajo ha sido la reducida información disponible de esos prototipos en bases de datos bibliográficas y en otros recursos públicos en la red es de carácter comercial. Las referencias encontradas no exponen detalles técnicos o en los resultados obtenidos en la utilización de esos prototipos. El lanzamiento de estos prototipos demuestra el interés por los fabricantes de ofrecer la tecnología a los ejércitos de nuestro entorno operativo y que han empezado a creer en su funcionalidad. Militarmente los vehículos tácticos requieren características que aseguren el cumplimiento de la misión, ofreciendo elevada movilidad y protección del personal.

Tras la investigación realizada se concluye que, los vehículos híbridos sí pueden ofrecer aplicaciones tácticas beneficiosas para las unidades del ET tipo batallón, tales como: la mejora de la movilidad (gracias a controles electrónicos más precisos y fiables), el aumento de la seguridad en los desplazamientos en combate, la capacidad de mantener la sorpresa frente al enemigo permaneciendo mayor tiempo sin ser descubierto, implementación de sistemas de armas más letales alimentados eléctricamente y la generación de electricidad de forma autónoma en cualquier lugar del campo de batalla. De este modo se llega a proponer una implantación de un prototipo a una unidad del ET.

Para el desarrollo futuro de vehículos de naturaleza híbrida, cabe destacar posibles ámbitos de evolución. Hoy en día, los vehículos híbridos más desarrollados que tienen un peso similar a los vehículos militares y que proporcionan las fuertes y continuas aceleraciones y deceleraciones habituales en la conducción *off-road* son los autobuses urbanos. Por ello se ha pensado que los actuales fabricantes de autobuses urbanos híbridos son buenos candidatos para escalar su tecnología a plataformas militares. Con respecto a la movilidad, cabe impulsar sus capacidades *off-road*, la resiliencia del vehículo y la supervivencia de sus ocupantes frente a ataques.

El desarrollo de ultracondensadores y baterías ampliaría las capacidades en cuanto a potencia generada y almacenada, dotando a los vehículos de más autonomía y potencia energética. En un futuro no muy lejano sería interesante que el ET pusiera a prueba vehículos de naturaleza híbrida y los comparase con otros convencionales, verificando si

los avances tecnológicos han logrado suficiente madurez para superar las tecnologías tradicionales.

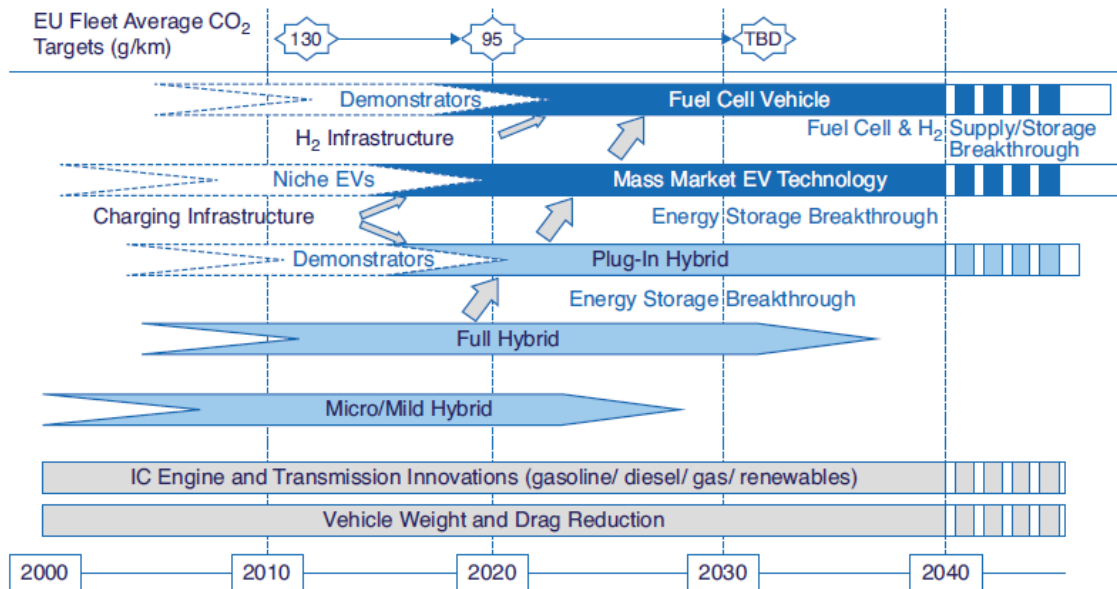
# Referencias

- [1] Ejército de Tierra., “Brigada 2035. Brigada experimental.” [Online]. Available: [http://www.ejercito.mde.es/estructura/briex\\_2035/index.html](http://www.ejercito.mde.es/estructura/briex_2035/index.html).
- [2] U. Nacional, *Internationalization of Higher Education in the light of some indicators 2nd PAN-AMERICAN INTERDISCIPLINARY CONFERENCE , PIC 2016 24-26 February , Buenos Aires Argentina*, no. May 2016. 2017.
- [3] José Santamarta, “El futuro del automóvil es eléctrico,” pp. 26–35, 2009.
- [4] M. B. T. Co., “La historia de los vehículos eléctricos comenzó en 1830,” 2019. [Online]. Available: <https://www.thoughtco.com/history-of-electric-vehicles-1991603>.
- [5] H.-D. Co, “Harley-Davidson LiveWire,” 2019. [Online]. Available: <https://www.harley-davidson.com/es/es/motorcycles/livewire.html>.
- [6] TRIMOVE Eco Vehículos, “E-BIKE.”
- [7] “La incorporación de 22 autobuses reduce la edad de la flota a 7,7 años,” p. 14, 2019.
- [8] Diario Aragones, “Zaragoza incorpora los primeros cuatro buses eléctricos que prestarán servicio de manera oficial,” 2019. [Online]. Available: <https://diarioaragones.com/mediodia/zaragoza-incorpora-los-primeros-cuatro-buses-electricos-que-prestaran-servicio-de-manera-oficial/>.
- [9] J. Macdonald, “Summary of prediction Bloomberg (2016),” pp. 2–3, 2016.
- [10] A. . M. e. Fernández, “Los 10 coches híbridos más vendidos en junio de 2019,” 2019. [Online]. Available: <https://www.motor.es/noticias/coches-hibridos-mas-vendidos-junio-2019-201958805.html>. [Accessed: 28-Sep-2019].
- [11] TESLA, “Tesla Roadster,” 2017. [Online]. Available: [https://www.tesla.com/es\\_ES/roadster](https://www.tesla.com/es_ES/roadster).
- [12] P. V. Valdés, “Trabajo Fin de Grado Viabilidad técnica de los vehículos de combate,” 2015.
- [13] H. Vehicle, “Vehículo Híbrido Oshkosh Camión Híbrido El HEMTT A3.” [Online]. Available: <http://www.hybrid-vehicle.org/hybrid-truck-hemtt.html>.
- [14] Autos on NBC News, “Military looks to develop heavy hybrid trucks,” 2006. [Online]. Available: <http://www.nbcnews.com/id/12597581/ns/business-autos/t/military-looks-develop-heavy-hybrid-trucks/#.XbcLiuhKhPY>.
- [15] P. Lluís and A. Press, “Shadow RST-V 4x4. La sombra del futuro,” vol. 2, 2003.
- [16] Arquus, “Scarabee,” 2019. [Online]. Available: <https://www.arquus-defense.com/scarabee-innovative-prototype>. [Accessed: 23-Oct-2019].
- [17] J. M. D. Navarro García, “Así es el VAMTAC ST5 híbrido,” 2014. [Online]. Available: <https://www.defensa.com/industria/vamtac-hibrido-expuesto-eurosatory>. [Accessed: 02-Nov-2019].
- [18] Tom Denton. Institute of the motor industry. “Electric and Hybrid Vehicles”, 2010. Malestrom

- [19] J. Liu, H. Peng, and Z. Filipi, "Modeling and analysis of the Toyota Hybrid System," *IEEE/ASME Int. Conf. Adv. Intell. Mechatronics, AIM*, vol. 1, pp. 134–139, 2005.
- [20] Green Cars Reports, "Bosh desarrolla un sistema de arranque y parada del motor para automáticos.," 2010. [Online]. Available: [https://www.greencarreports.com/news/1047743\\_bosch-develops-engine-stop-start-system-for-automatics](https://www.greencarreports.com/news/1047743_bosch-develops-engine-stop-start-system-for-automatics). [Accessed: 25-Oct-2019].
- [21] B. Tabbache, A. Kheloui, and M. E. H. Benbouzid, "An adaptive electric differential for electric vehicles motion stabilization," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 60, no. 1, pp. 104–110, 2011.
- [22] A. Khajepour, Amir; Fallah, Saber; Goodarzi, *Electric and Hybrid Vehicles. Technologies, Modeling and Control: a Mechatronic Approach.*, vol. 17. 2014.
- [23] D. A. A. L. M. Meganeboy, "Vehículos Híbridos. Toyota Prius Hyb.," 2014. [Online]. Available: <http://www.aficionadosalamecanica.net/hibridos-prius.htm>. [Accessed: 28-Oct-2019].
- [24] MADOC, "Vehículo VAMTAC ST5, BNL bivalente," pp. 3–8, 2017.
- [25] "Vehículo Táctico Ligero Multirrol ( VTLM ) CNLTT 1 . 5 TM IVECO M65E19WM."
- [26] MADOC, *MI6-032. Manual de instrucción conductor de BMR M-1*. 2000.
- [27] FreepikCompany, "Carretera de rocas Afganistan." [Online]. Available: [https://www.freepik.es/foto-gratis/montanas-remotas-colinas-afganistan-carretera-rocas\\_668910.htm](https://www.freepik.es/foto-gratis/montanas-remotas-colinas-afganistan-carretera-rocas_668910.htm).
- [28] D. T. A. Riquero Tournier, "¿Vehículos Híbridos o Eléctricos?," 2018. [Online]. Available: <https://talleractual.com/tecnica/electronica-y-electricidad/2802-vehiculos-hibridos-o-electricos-parte-3>. [Accessed: 26-Oct-2019].
- [29] Ejército de Tierra. "Programa. Vehículo de combate sobre ruedas (VCR) 8x8.," 2019.
- [30] Wikipedia, "Alambrada de la muerte.," 2019. [Online]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Alambrada\\_de\\_la\\_Muerte](https://es.wikipedia.org/wiki/Alambrada_de_la_Muerte). [Accessed: 30-Oct-2019].
- [31] VOLVO Bus Corporation. "Línea motriz híbrida eléctrica de Volvo".
- [32] VOLT Motorcycles CO., "VOLT 220," 2019. [Online]. Available: <http://www.voltmotorcycles.com/electric-motorcycle-volt220>. [Accessed: 23-Oct-2019].
- [33] Iberisa Sociedad Limitada. "Equipamiento y herramientas para vehículos híbridos y eléctricos.," 2019. [Online]. Available: <http://iberisasl.com/equipamiento-y-herramientas-para-vehiculos-hibridos-y-electricos/>. [Accessed: 27-Oct-2019].
- [34] Iberisa Sociedad Limitada. "Catalogo herramientas vehículos híbridos y eléctricos.," p. 10, 2019.

## Apéndice A.

A continuación, se muestra un cronograma de las tendencias esperadas en el desarrollo tecnológico en vehículos, obtenido en [18] .



## Apéndice B.

El sistema de propulsión híbrido de próxima generación Oshkosh ProPulse® proporciona varios beneficios para el rendimiento de la flota:

- Mejora la economía de combustible hasta en un **40 por ciento** sobre los trenes de potencia convencionales en terrenos difíciles.
- Menor huella logística. Como el sistema no usa baterías, nunca es necesario reemplazarlas. Por el contrario, los **ultra condensadores** se utilizan para almacenar energía, y la cantidad de combustible necesaria para abastecer camiones equipados con ProPulse es menor.
- Generador a bordo. El sistema actúa como un generador de a bordo, proporcionando suficiente electricidad para alimentar una manzana, aeródromo, hospital o centro de comando.
- Firma de calor reducido. El camión puede permanecer en silencio, utilizar el sistema ProPulse para alimentar el equipo y, sin embargo, no generar firma de calor, ya que el motor no necesita estar en funcionamiento.
- Tecnología de seguridad avanzada. A diferencia de otros sistemas, los usuarios pueden descargar toda la energía almacenada del camión, por lo que el personal de mantenimiento puede trabajar con total seguridad.



---

El sistema ProPulse utiliza una disposición modular híbrida en serie única para simplificar la transmisión de potencia a las ruedas. El motor diésel alimenta un **generador eléctrico**, que proporciona **energía directa** a las **ruedas**, eliminando el convertidor de par, la transmisión automática, la caja de transferencia y los ejes de transmisión. El sistema **no** tiene **baterías**, en su lugar utiliza **ultra condensadores** para el almacenamiento de energía. Una función de **frenado regenerativo** almacena la energía del motor y luego la usa para ayudar en la próxima operación de frenado, reduciendo el desgaste del sistema de frenos.

Esta tecnología de punta es el primer paso significativo hacia el desarrollo de una generación completamente nueva de camiones de defensa altamente móviles e increíblemente eficientes. El enfoque de Oshkosh es mejorar las características de rendimiento al tiempo que reduce la huella logística y hace que los camiones sean más ecológicos

#### *Especificaciones*

- Motor: 400 HP Cummins ISL Diesel
- Generador: Marathon 305KW  
(200KW de potencia exportable)
- Almacenamiento de energía: ultra condensadores de 1.5 MJ
- Motores de accionamiento: Moog - 460 VCA
- Marco: tubo rectangular
- Suspensión: Oshkosh TAK-4 / Altura variable
- Engranaje de eje: engranaje de 2 velocidades con extremos de rueda planetaria
- Frenos: disco de aire con ABS
- Ruedas: aluminio
- Neumático: 395 / 85R20 XZL Michelin con CTIS
- Además, el HEMTT A3 ha mejorado el rendimiento de HEMTT con respecto a:
  - Longitud 16 pulgadas más corta
  - 3.000 libras encendedor
  - Más estable / maniobrable
  - 11 pulgadas menos de carga útil CG
  - Cabina 40% más espaciosa
  - 20% mejor economía de combustible
  - Comodidad mejorada de la tripulación
  - Seguridad mejorada de la tripulación
  - Diseño modular
  - Huella logística reducida

---

## Apéndice C.

La motocicleta deportiva Volt 220 [32] , diseñada por la empresa irlandesa Volt Motorcycles, se caracteriza por su capacidad de proporcionar una autonomía de 200 km por lo que recibe su nombre.



### Especificaciones técnicas:

<b>Mayor velocidad</b>	<b>120km / h</b>
<b>Carga</b>	<b>150kg</b>
<b>Tensión nominal del motor</b>	<b>DC96V</b>
<b>Voltaje y capacidad de la batería</b>	<b>96V / 60AH</b>
<b>Tiempo de carga</b>	<b>Hasta 6 horas aprox.</b>
<b>Tipo de Batería</b>	<b>Batería de Litio</b>
<b>Rango por carga</b>	<b>120km</b>
<b>Dimensiones</b>	<b>Largo x 2100 mm, Ancho x 680 mm, Altura x 1185 mm</b>
<b>Peso integral</b>	<b>140kg</b>
<b>Frenos</b>	<b>Frenos de disco hidráulicos delanteros y traseros con APS</b>
<b>Luces</b>	<b>Luz diurna LED "Ultra-Brite" LED Luz principal</b>

---

## Apéndice D.

La empresa Iberisa [33] ha desarrollado un entorno de trabajo para abordar las reparaciones de vehículos híbridos y eléctricos. Se precisa de un equipamiento y herramientas especiales. La seguridad en la reparación de vehículos híbridos y eléctricos es fundamental ya que sus baterías son de alta tensión y un accidente puede causar lesiones muy graves. Dada las especiales características que tienen la reparación de estos vehículos el material necesario se ha dividido en:

- Seguridad en el taller.
- Seguridad del vehículo.
- Seguridad personal.
- Herramientas de alta tensión y comprobadores.

### Seguridad en el taller

La **seguridad del taller** se enfoca a hacer que el entorno de trabajo sea seguro para los mecánicos y técnicos, pero también para los clientes que puedan estar cerca del vehículo. Es importante que haya un área señalizada e identificada como zona de peligro y alto voltaje, con barreras y señalización apropiada.

También es importante que haya equipos de rescate y primeros auxilios para estar preparados en caso de emergencia.

Tanto los vehículos eléctricos híbridos (HEV) como los vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV) **tienen una batería de alta tensión** de hasta 280 voltios **capaz de** suministrar suficiente corriente para electrocutar a las personas.

Una buena señalización y medidas preventivas pueden evitar correr riesgos.



---

### Seguridad del vehículo

La **seguridad del vehículo** se enfoca en hacer que se pueda trabajar de una forma segura sobre él. Los vehículos híbridos y eléctricos tienen un interruptor para deshabilitar la batería, el cual debe desactivarse para realizar las reparaciones.

Su fin es aislar la batería de alta tensión del resto del vehículo. Sin embargo, importante que los mecánicos y técnicos del taller sean conscientes de que es un vehículo de alto voltaje y no lo intenten arrancar ni mover. Para que esto se lleve a cabo, se puede señalizar adecuadamente, etiquetas de seguridad, etc.

También es una buena práctica almacenar el interruptor que deshabilita la batería en un lugar seguro, para evitar que alguien lo pueda recolocar.

Una vez que se ha retirado, la alta tensión tarda un tiempo en disiparse. Usar un comprobador para verificar la ausencia de voltaje es adecuado para verificar la falta de tensión. Además, también se recomienda usar materiales aislantes adecuados para proteger los circuitos de alta tensión.



### Seguridad personal

La **seguridad personal** está enfocada a proteger al técnico o mecánico que está reparando el vehículo híbrido o eléctrico. Deben usarse guantes aislados y un protector facial para protegerse frente a fugas de alto voltaje y riesgos de arco eléctrico. Trabajar cerca de la batería es una operación de bajo riesgo si se siguen los procedimientos adecuados y se utilizan guantes aislados clase 0 con capacidad de 1000 voltios. Además, es recomendable utilizar guantes de cuero sobre los guantes aislantes para proteger contra riesgos mecánicos y eléctricos. No hay que olvidar que trabajar con joyas puede ser peligroso y posibilita la electrocución.



---

### Herramientas de alta tensión y comprobadores

Las herramientas **de alta tensión y comprobadores** están fabricadas para cumplir con los estándares específicos que precisan las reparaciones de vehículos híbridos y eléctricos de alto voltaje.

Deben estar diseñadas para trabajar con 1000V y garantizar que las herramientas de prueba sean adecuadas y seguras para trabajar en sistemas de alto voltaje.

Se requiere que las herramientas manuales estén totalmente probadas y aisladas según las normas IEC 60900: 2012, y que lleven los símbolos internacionales para las herramientas de alto voltaje.



Todo el equipamiento y herramientas para vehículos híbridos y eléctricos de nuestro catálogo están pensadas para garantizar la seguridad de los técnicos, empleados y clientes. Incluso si se siguen los procedimientos correctos del fabricante del vehículo, todavía hay riesgo.

No hay que olvidar que el vehículo que está en el taller ha sufrido un accidente por lo que no se pueden asumir riesgos. La seguridad es primordial.

- **Elementos de seguridad en el taller:** incluye alfombras de suelo de alto voltaje, un poste de rescate aislado, señal de alto voltaje / no entrada, señal de peligro de alto voltaje, un conjunto de cuatro postes y bases de barrera, junto con 25 metros de cadena, equipo para desplazar el coche sin empujarlo, bancos de trabajo no metálicos y cargadores de las baterías con adaptadores a los distintos modelos del mercado.
- **Seguridad del vehículo:** incluye dos pinzas de seguridad aisladas de 1000 V, una cubierta de seguridad transparente de 1,4m x 1,0 m (clasificación de 1000 V), una cubierta de bloqueo del volante, un candado de seguridad con cuerpo de nylon, una etiqueta de seguridad “No arrancar”, un conjunto de tres (15, 15, 35 mm) protectores aislantes para cubrir los extremos de los cables desconectados.
- **Seguridad personal:** un protector facial de arco eléctrico, una bolsa de transporte para el protector facial, un conjunto de guantes aislados de clase 0 con capacidad para 1000 V y un traje protector del cuerpo.
- **Herramientas de alta tensión y comprobadores:** incluye un multímetro de categoría III, un comprobador de aislamiento de alto voltaje, un conjunto de herramientas tradicionales aisladas certificadas por GS y VDE, desde conjuntos de llaves de vasos y llaves dinamométricas hasta alicates, destornilladores y mucho más detallado en el

---

catálogo de la empresa [34] .La gama también incluye probadores de alto voltaje, medidores de abrazadera y probadores de aislamiento.